أساسيات علم الأراضى

Fundamentals of Soil Science

دكتور

السيد أحمد الخطيب

Ph. D. University of W. Virginia (USA)

أستاذ علوم الأراضى والمياه - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية

والحائز علـــــى

جائزة الدولة التشجيعية في العلوم الزراعية عام ١٩٩٣

ونوط الإمتياز من الطبقة الأولى

٢٠٠٦م

بسم الله الرحمن الرحيم

الرحمن ﴿١﴾ علم القرآن ﴿٢﴾ خلق الإنسان ﴿٣﴾ علمه البيان ﴿٤﴾ الشمس والقمر بحسبان ﴿٥﴾ والنجم والشجر يسجدان ﴿٦﴾ والسماء رفعها ووضع الميزان ﴿٧﴾ ألا تطغوا فى الميزان ﴿٨﴾ وأقيموا الوزن بالقسط ولا تخسروا الميزان ﴿٩﴾ والأرض وضعها للأنام ﴿١٠﴾ فيها فاكهة والنخل ذات الأكمام ﴿١١﴾ والحبُّ ذو العصف والريحان ﴿١٢﴾ فبأى إلآء ربكما تكذبان ﴿١٣﴾

الرحمن (١-١٣)

أو لم ير الذين كفروا أن السموات والأرض كانتا رتقاً ففتقناهما وجعلنا من الماء كل شيء حى أفلا يؤمنون ﴿٣٠﴾

الأنبياء (٣٠)

ألم نجعل الأرض مهداً ﴿٦﴾ والجبال أوتاداً ﴿٧﴾ وخلقناكم أزواجاً ﴿٨﴾

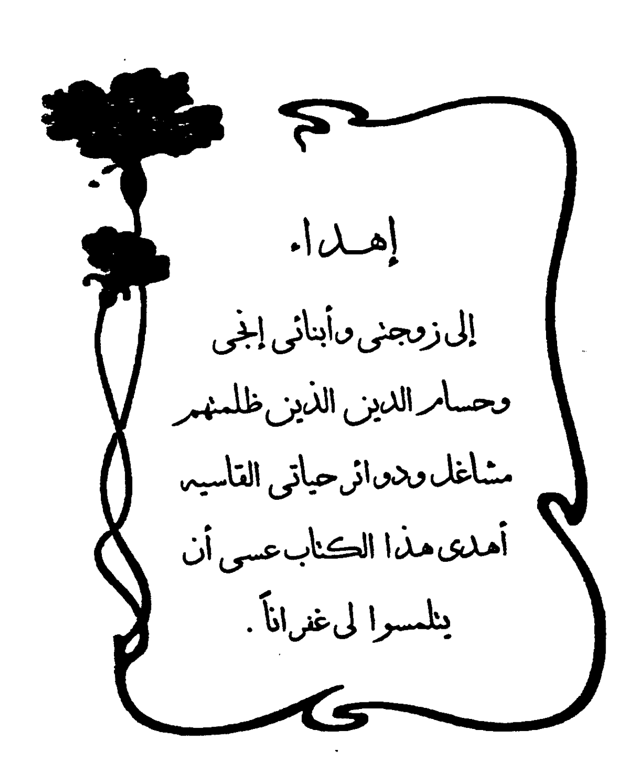
النبأ (٦ – ٨)

ففتحنا أبواب السماء بماء منهمرٍ ﴿١١﴾ وفجرنا الأرض عيوناً فالتقى الماء على أمرٍ قد قُدرَ ﴿١٢﴾

القمر (١١ ، ١٢)







إهداء

إلى زوجتى وأبنائى إنجى
وحسام الدين الذين ظلمتهم
مشاغل ودوائر حياتى القاسيه
أهدى هذا الكتاب عسى أن
يلتمسوا لى غفراناً .



مُقدِّمة

تعتبر الأرض (التربة) هى أحد الموارد الأساسية الطبيعية للبشرية وإستغلال الإنسان لهذا المورد الهام عبر التاريخ هو الذى سمح بتطور المجتمعات البشرية وظهور الحضارات التى عرفها التاريخ البشرى على مر العصور . لذلك فإن معرفة وفهم ماهية التربة وتكوينها وأشكال الحياة فيها وأسباب تدهورها هو أمر هام وضرورى لإستغلال هذا المورد والحفاظ عليه كشرط أساسى لبقاء الحياة وللتقدم الذى يتطلع إليه الإنسان .

ولقد تم بتوفيق من الله إعداد هذا الكتاب ليكون مرجعاً شاملاً لكل جوانب أساسيات علم الأراضى . ويشتمل هذا الكتاب على ثمانية عشر فصلاً ، ويتناول الفصل الأول منها المفهوم الحديث للتربة ونبذة عامة عن مكونات التربة ومراكز النشاط فيها . ويتعرض الفصل الثانى للصخور التى تمثل الوحدات الأساسية فى بناء هيكل التربة والعمليات الخارجية التى تحدث لها من تكسير طبيعى وتحول كيميائى وحيوى مما يؤدى إلى تفتيت وتحلل هذه الصخور . كما يتعلق الفصل الثالث بعوامل تكوين الأراضى وكيفية تكوين الأراضى وتناول الفصل الرابع النظام التقسيمى للأراضى الذى هو ضرورة حتمية لتبادل المعلومات عن الأراضى فى مواقع مختلفة من العالم . ويتعرض الفصل الخامس للخواص الفيزيائية للأراضى التى تلعب دوراً هاماً فى حركة الماء والهواء فيها . أما الفصلين السادس والسابع فيتناولان علاقات الماء والهواء والأرض وكذلك علاقات درجة حرارة التربة والنشاط الزراعى - ولما كان إنجراف الأرض مشكلة عالمية تهدد جميع أنواع الأراضى فى العالم فلقد خصصنا فصلاً كاملاً لشرح هذا الموضوع الهام (الفصل الثامن) .

ويجد القارىء الكائنات الحية الموجودة فى التربة والمسئولة عن تحليل وتخليق المواد العضوية فى التربة فى الفصل التاسع . أما نتاج محصلة نشاط الكائنات الحية فى التربة وهى مادة التربة العضوية وتركيبها البنائى وأثرها على خواص التربة فيجدها القارىء فى الفصل العاشر .

وتعتبر الفصول الثلاثة التالية (الحادى عشر والثانى عشر والثالث عشر) خاصة بالتركيب المعدنى للأراضى والخواص الكيميائية لغرويات التربة والمحلول الأرضى حيث أن العديد من التفاعلات الكيميائية تحدث على سطح غرويات التربة كما أن المحلول الأرضى هو الوسط الذى يستمد منه النبات معظم العناصر الغذائية اللازمة لنموه .

ويتناول الفصل الرابع عشر خصوبة التربة والعناصر الغذائية الأساسية التى يحتاجها النبات لنموه ومصادرها فى التربة وميكانيكية إمتصاصها . ولقد أفردنا فصلاً كاملاً (الفصل الخامس عشر) لموضوع الأسمدة والتسميد لما لهذا الموضوع من أهمية كبيرة حيث أن إضافة الأسمدة للأراضى المنتجة للحاصلات الزراعية يعتبر أحد عوامل النمو الهامة والضرورية لزيادة الإنتاج الزراعى كما أن إستخدام الأسمدة بكميات تزيد عن إحتياجات المحصول الغذائية قد يؤدى إلى تلوث البيئة والمياه .

ويعالج الفصل السادس عشر الأراضى الملحية والصودية والتى تنتشر بدرجة كبيرة فى المنطقة العربية والمناطق الجافة . ولأن التربة هى المستقبل الرئيسى للعديد من المخلفات الكيميائية المستخدمة فى المجتمع المتحضر فلقد عالج الفصل السابع عشر موضوع تلوث التربة وكيفية التخلص من ملوثات التربة وكذلك تأثير المخلفات الزراعية والصناعية على البيئة . أما الفصل الثامن عشر والأخير فيتعلق بدور الأراضى فى إمداد العالم بالغذاء والتقنيات التى تحتاجها البلدان النامية لزيادة الإنتاج الزراعى بها .

وبوجه عام فإن فصول الكتاب فى مجموعها تنطوى على المعارف الرئيسية التى يرى المؤلف أنه لا غنى للقارىء المبتدىء فى علم الأراضى عن الإلمام بها ولقد زود كل فصل بعدد من المراجع التى توجه القارىء المتخصص إلى المصادر الرئيسية التى تحتوى على العديد من التفاصيل التى يرغب فى الإستزادة منها .

ويأمل المؤلف بتقديم مؤلفه هذا إلى المكتبة العربية أن يستفيد منه طلاب كليات الزراعة والعاملون فى مجال الزراعة والدارسون والباحثون فى هذا المجال على إمتداد وطننا العربى الكبير .

والله ولىّ التوفيق ،

الإسكندرية — دكتور / السيد أحمد الخطيب

المحتويات

الموضوع	الصفحة

الموضـــــــــــوع	الصفحة

الموضـــــوع	الصفحة

الموضـــــوع	الصفحة

الموضـــــــوع	الصفحة

الموضـــــــــوع | الصفحة

الموضــــــوع	الصفحة

الموضـــــوع	الصفحة

الموضـــــوع	صفحة

الفصل الأول

الأراضى : المفهوم والمعنى

Soils : Meaning and Concept

- المفهوم الحديث للتربة
- قطاع التربة
- الأتربة المعدنية والأتربة العضوية
- المكونات الأساسية للأتربة المعدنية
- التفاعل بين مكونات التربة
- صلاحية العناصر الغذائية الأساسية



1

الأراضى : المفهوم والمعنى

Soils : Meaning and Concept

يعتمد نمو وتقدم البشريه بدرجة كبيرة على الاتربه وبالتالى فإن الأتربه الجيدة وطريقة أستخدامها تتوقف على البشر الذين يعيشون عليها . فالأتربه هى عبارة عن أجسام طبيعية تنمو فيها النباتات وتعتبر نقط البداية لأى زراعات ناجحة .

وتعنى الاتربه أشياء كثيرة للبشريه فهى تعتبر أساس للمبانى المقامه عليها كالمنازل والمصانع وغيرها وتتحدد صلاحية الأتربه كأساسات للمبانى المقامه عليها تبعا لنوع التربه . أيضا تستخدم الأتربه لعمل الطرق ويتحدد عمر الطرق تبعا لنوع التربه المستخدمه . كما تستخدم الأتربه كفلتر طبيعى لامتصاص مخلفات الصرف الصحى والصناعى ولسوء الحظ فإن سوء إستخدام الأتربه وعدم الحفاظ عليها قد يؤديان إلى غسيل هذه الأتربه وترسيبها فى مجارى الانهار مما يعيق استخدام هذه الانهار بالإضافه إلى مايترتب على ذلك من تدهور فى صفات الماء . ومما سبق يتضح أهمية الأتربه لقاطنى المدن بنفس درجة أهميتها لقاطنى القرى .

والتمدن Civilization بشكل عام يعتمد على مدى جودة التربه فالمدنيات والإمبراطوريات القديمة التى نشأت حول نهر النيل إعتمدت بشكل مكثف فى نشأتها على جودة الأتربه الخصبة لدلتا النهر والمقدره العالية لهذه الأتربه على إنتاج الغذاء . فقد ساعد ثبات خصوبة أتربة الدلتا نتيجة الفيضان وما يحمله من طمى فى الحفاظ على قدرة هذه الأتربه فى إنتاج الغذاء وما ترتب على ذلك من بناء مجتمعات منتظمة تتميز بالثبات وهذا بدوره ساعد على تطور ونمو هذه المجتمعات . أيضاً يجب ألايغيب عن الأذهان أن أحد أسباب تدهور المدنيات القديمة هو عدم

الاستخدام الأمثل للأتربة .

واليوم نجد أن كثير من عامة البشر لا يدركون مدى أهمية الأتربه على المدى الطويل فكثيرا منهم يجهلون أهمية الأتربه وماتعنيه لجيل اليوم والأجيال القادمة .

المفهوم الحديث للتربة Modern Concept of Soil

نشأ المفهوم الحديث للتربه نتيجة الدراسات العلميه المكثفه على مدى عقدين من الزمان ويمكن النظر إلى التربه بمنظورين : -

المنظورالأول :

يعامل التربه على أساس أنها جسم طبيعي نشأ طبيعياً naturally نتيجة عوامل التحويه الطبيعية والبيوكيميائيه .

المنظور الثاني :

يعامل التربه على أنها بيئه طبيعية لنمو النبات .

وهذين المنظورين يوضحان أن الأتربه يمكن دراستها من وجهة النظر البيدولوجيه pedology وأيضا من وجهة النظر الايدافولوجيه Edaphology .

Pedology :

هي كلمة مشتقه من اللفظ اليونانيPedon ويعني تربه Soil وتعرف بأنها دراسة التربه كجسم طبيعي وفي دراسة التربه من هذا المنظور لا يتم التركيز على الاستخدام العملي للتربه وإنما يتم دراسة نشأة الأتربه وتقسيمها ووصفها في الحاله الطبيعية وهذه الدراسات ذات أهمية كبيرة للمزارع وأيضا لمهندسي الطرق والإنشاءات.

Edaphology :

هي كلمة مشتقه من اللفظ اليوناني edaphos ويعني أيضاً التربه Soil وتعرف بأنها دراسة التربه كبيئه لنمو النبات وفيها يتم التركيز على دراسة أسباب ومعوقات إنتاجية التربه والبحث عن الوسائل اللازمه للحفاظ على التربه وتعظيم إنتاجها أي أن الهدف الرئيسي في هذه الدراسة هو إنتاج الغذاء والألياف من التربه .

وفى هذا الكتاب سوف يتم التركيز على وجهة النظر الايدافولوجيه كما سوف تستخدم وجهة النظر البيدولوجيه لفهم نشأة وتكوين التربه وتقسيماتها المختلفة .

التربة فى الحقل

التربه والريجوليث Soil Versus Regolith

يعرف الريجوليث Regolish بأنه المواد المفتته التى تعلو الصخور وذلك عند أخذ قطاع رأسى فى القشرة الأرضية (شكل 1-1) ويتراوح سمك المواد المفتته من سنتيمترات حتى عشرات الامتار . وتتكون المواد المفتته نتيجة تجويه الصخور الموجوده أسفلها أونتيجة النقل بواسطة الرياح أو الماء أو الجليد ثم ترسيبها بعد ذلك فوق الصخور الموجودة أسفلها . وبالتالى نجد أن مكونات الريجوليث تختلف من مكان إلى آخر .

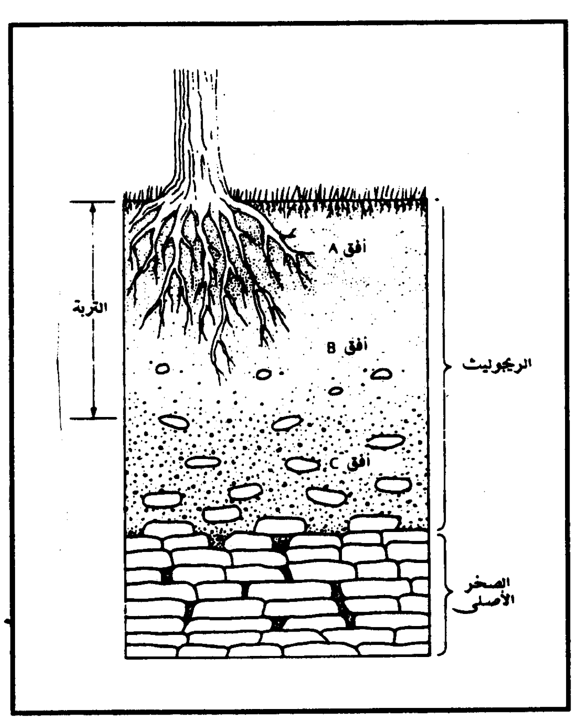
ويلاحظ إختلاف الطبقة السطحية (1-2m) من الريجوليث عن الطبقة غير السطحية حيث تتميز بأرتفاع محتواها من المادة العضوية نتيجة لوجود جذور النباتات فى هذه المنطقة كما أن بقايا النباتات الموجودة على السطح يمكن أن تنتقل إلى أسفل بفعل الديدان الأرضية وتتحلل بفعل ميكروبات التربه أيضا الجزء السطحى من الريجوليث يكون أكثر عرضه للتجويه من الجزء تحت السطحى . وإنتقال نواتج التجويه إلى أسفل يؤدى إلى أختلاف خواص الطبقات فى الاتجاه الرأسى ويتكون ما يسمى بالآفاق horizons .

قطاع التربه والطبقات المكونه له

The Soil Profile and its layers (Horizons)

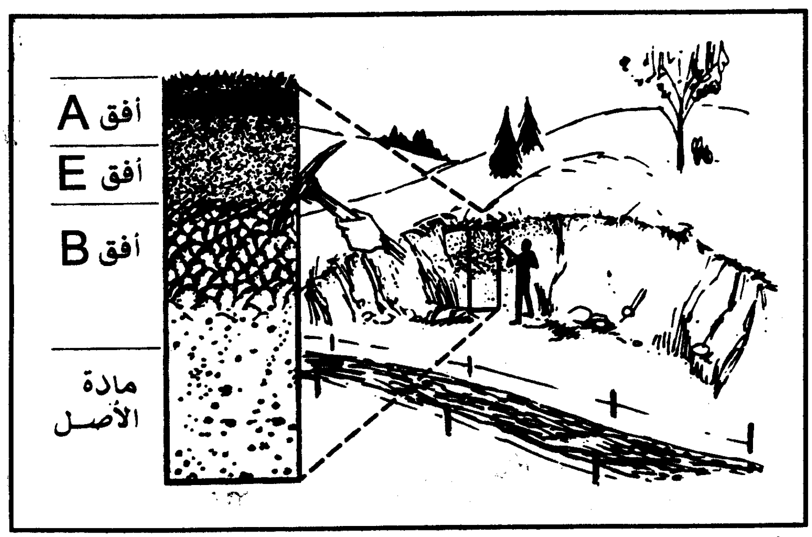
التربه هى الطبقه السطحية من القشرة الأرضية الناتجه من تفتت الصخور وأنحلالها أو أنحلال بقايا المادة العضوية أو منهما معا. وتعتبر التربه هى الطبقه الصالحة من الوجهة الحيويه والكيميائيه والطبيعيه لأن تكون مهدا للنبات . وبفحص قطاع رأسى فى التربة يلاحظ وجود طبقات مميزة مختلفة الخواص (شكل 1-2)

ويطلق على القطاع الرأسى إسم Profile أما الطبقات الأفقيه الموازيه لسطح التربه والمكونه للقطاع فيطلق عليها أفاق horizons وتتميز الأتربه ذات التطور الجيد باحتوائها على أفاق مميزة وتختلف طبيعة وصفات ومكونات هذه الأفاق تبعا لكيفية تطور التربه . ولذلك نجد أن كل تربه لها أفاق مميزة خاصة بها ويمكن أستخدام هذه الأفاق المميزة لتقسيم وحصر الأتربه كما يمكن استخدامها فى تحديد الاستخدام الأمثل لهذه الأتربة.



شكل (1-1) :

رسم تخطيطى يوضح الريجوليث ، التربه ، الصخور الموجودة أسفلهما وفى بعض الأحيان نجد أن سمك الريجوليث يكون ضعيف جدا وذلك لتحوله بالكامل إلى تربة وفى هذه الحاله نجد أن الصخور تقع مباشرة أسفل التربه .



شكل (2-1) :
يمثل قطاع رأسى فى التربه ويوضح الطبقات المكونه للقطاع . ويطلق على الطبقة السطحية إسم أفق A ويتميز هذا الأفق بارتفاع المادة العضويه فيه كما أن لونه يكون داكنا وبدرجة أكبر من الآفاق غير السطحية . بعض مكونات أفق A مثل الطين الناعم يمكن أن تتحرك لأسفل من خلال حركة الماء خلال القطاع أما الأفق تحت السطحى فيسمى أفق B ويتميز بتجمع الطين واختلاف صفات الطبقات فى القطاع من تربه إلى أخرى جعل من الممكن عمل نظام تقسيمى للأراضى .

تتميز الآفاق السطحية فى قطاع التربه باللون الداكن نتيجة تجمع المواد العضوية الناشئة من تحلل جذور النباتات وبقايا النبات الموجودة على السطح كما أن درجة تجويه الأفاق السطحية تكون أعلى منها فى الأفاق تحت السطحية وغالبا ما يحدث إنتقال لنواتج التجويه من الأفاق السطحية إلى الأفاق تحت السطحية ويطلق على الأفق السطحى أسم أفق A .

تحتوى الآفاق تحت السطحية على محتوى أقل من المادة العضوية بالمقارنة بالآفاق السطحية . وتتميز الأفاق تحت السطحية بتجمع كميات مختلفة من المواد مثل معادن الطين السليكاتيه وأكاسيد الحديد والألومونيوم والجبس وكربونات الكالسيوم. وهذه المواد قد تنتقل من الطبقات السطحية إلى أسفل بواسطة الماء أو قد

تتكون فى مكانها بفعل عمليات التجويه ويطلق على الأفق تحت السطحى إسم أفق B .

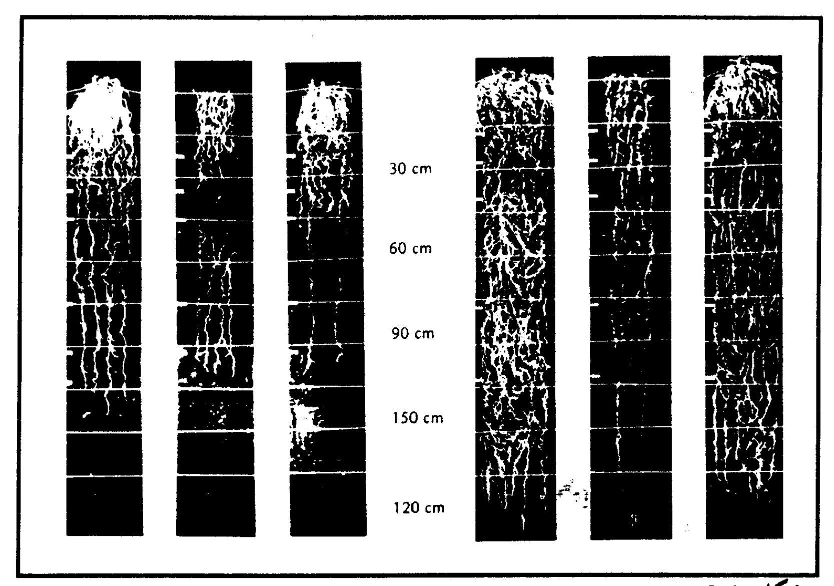
وتتكون أفاق B , A بفعل عوامل وعمليات تكوين الأراضى وتشمل عمليات الأنحلال البيوكميائى والتجويه والتخليق . وتعتبر هذه الأفاق دليل واضح على نشأة وتطور التربه من مادة الأصل التى تكونت منها .

يطلق على الجزء العلوى من القطاع (أفق A ، أفق B) إسم طبقة الاستزراع Solum (وهى كلمة لاتينيه تعنى التربه) وتختلف سمك طبقة الاستزراع Solum من تربه إلى أخرى تبعا لدرجة التجويه فتكون حوالى 1-2 m فى أراضى المناطق الباردة وأكثر عمقا من ذلك فى الأتربه المناطق الأستوائيه (تجويه شديدة)

سطح التربه وتحت سطح التربة Topsoil and Subsoil

ينتج عن حرث التربه وزراعتها تعديل للحاله الطبيعية للجزء العلوى (12-18 cm) من الطبقة السطحية للتربه ويطلق على هذا الجزء المعدل إسم سطح التربه Topsoil أو قد يطلق عليه Furrow Slice فى حالة حرث وزراعة التربه فى خطوط . ويعتبر سطح التربه هو المنطقة الأساسيه لتطور جذور النباتات المنزرعه بها فهى تحتوى على العديد من العناصر الغذائية الصالحة لنمو النبات كما أنها ايضا تمد النبات بالماء اللازم لنموه . ويمكن للعمليات الزراعيه من خدمة وخلافه الحفاظ على سطح التربه بصورة مفككه تسمح بمرور الهواء والماء اللازمين لنمو النبات كما يمكن إضافة الأسمدة الكميائية إلى سطح التربه وذلك لتحسين خصوبتها وبالتالى تحسين مقدرتها على إنتاج المحاصيل المختلفة .

وتحت التربه Subsoil يتكون من الطبقات التى تقع أسفل سطح التربه Top soil وهى بالقطع لاتتأثر بعمليات الحرث . وتؤثر طبقة سطح التربه على إنتاجيه المحاصيل نتيجة إختراق جذور النباتات لهذه الطبقة وأيضا لما تحتويه هذه الطبقة من ماء وعناصر غذائية (شكل 1-3) . فى بعض الأحوال قد يعيق عدم نفاذيه تحت السطح حركة مياه الصرف إلى أسفل وبالتالى فإن نمو النبات يتأثر سلباً نتيجة لذلك. وهذه الملحوظة ذات قيمة عمليه كبيرة لأن تحديد وكيفية استخدام واستزراع الأتربه يتوقف إلى حد كبير على صفات الطبقات تحت السطحية .



شكل (3-1):
صورة توضح نمو الجذور فى قطاع التربه ويلاحظ غزارة نمو الجذور فى التربه المسمده (يمين الصورة) بالمقارنة بالجذور النامية فى التربه غير المسمده (يسار الصورة).

الأتربه المعدنيه (غير العضويه) والأتربه العضويه

Mineral (Inorganic) and Organic Soils

يعتبر القطاع الأرضى الذى تم وصفه سابقا ممثلا للقطاع الأرضى الخاص بالأتربه ذات التركيب المعدنى أو غير العضوى . وعموما فإن الطبقات السطحيه للأتربه المعدنيه تحتوى على نسبة منخفضه من المادة العضويه تتراوح من ١ ــ ٦٪ وعلى النقيض من ذلك فإن الأتربه التى يسود تركيبها المادة العضويه تسمى الأتربه العضويه Organic Soils .

تعريف التربه العضويه :

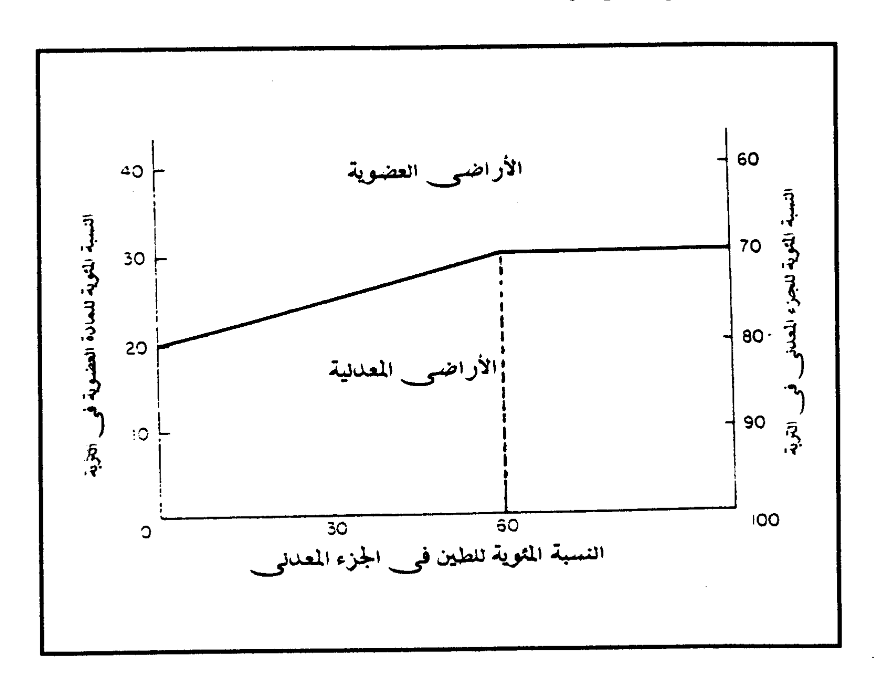
أ ـ فى حالة تشبع التربه بالماء لفترة طويلة

تعرف التربه العضويه فى هذه الحاله بأنها التربه التى تحتوى على الأقل 20%

مادة عضويه على أساس الوزن الجاف وذلك اذا كانت التربه لاتحتوى على طين أما اذا كان الجزء المعدنى من التربه يحتوى على 60% طين فإن التربه العضويه يجب أن تحتوى على الأقل 30% مادة عضويه على أساس الوزن الجاف .

ب ـ فى حالة عدم تشبع التربه بالماء

فى هذه الحالة فإن التربه العضويه يجب أن تحتوى على الأقل 33.3 مادة عضويه على أساس الوزن الجاف .



وتعتبر الأتربه العضويه من الأتربه عالية الأنتاجيه وذلك عند تحسين حالة الصرف وهى غالبا ما تستخدم لزراعة المحاصيل التى تدر عائدا نقديا كبيرا مثل الخضروات . وتتواجد الأتربه العضويه فى المناطق الغدقه وبمساحات كبيرة فى ولايات ميتشجان، ويسكونسن ، مينوسوتا بالولايات المتحدة الأمريكية. والعائد

الأقتصادى للأتربه العضويه يكون كبيرا حيث يمكن حفر الترسيبات العضويه ونقلها واستخدامها كأسمدة عضويه فى حدائق المنازل وكمادة مالئه لزراعة الأصص. وحيث أن مساحة الأتربه المعدنيه تمثل الغالبيه العظمى من مساحة الأتربه فى العالم فإن هذا الكتاب سوف يتناول الأتربه المعدنيه تفصيليا .

المكونات الأساسيه للأتربه المعدنيه

Major Components of Mineral Soils

تتكون الأتربه المعدنيه من أربع مكونات أساسيه هى : مكونات مواد معدنيه أو غير عضويه ، مادة عضويه ، ماء ، هواء ويوضح شكل رقم (1-4) النسب الحجميه لهذه المكونات فى تربه سطحيه لوميه تحت ظروف جيدة لنمو النبات . ويلاحظ أن هذه التربه المعدنيه تحتوى على 50% من حجمها مواد صلبه ، 50% فراغات بينيه مملوءة بالماء والهواء . وتمثل الحبيبات الصلبه المعدنيه حوالى 45% من حجم التربه بينما تمثل الماده العضويه حوالى 5% من حجم التربه . عند الظروف المثلى للرطوبه الأرضيه يكون حوالى 25% من الفراغات البينيه مملوءة بالماء وحوالى 25% من الفراغات البينيه مملوءة هواء علما بأن هذه النسب عرضه للتغير السريع تبعا لحالة الرطوبه الأرضيه . والجدير بالذكر أن المكونات الأساسيه فى التربه تتواجد فى صورة مختلطه حيث أن هذا الاختلاط يسمح بتفاعل هذه المكونات مع بعضها مما ينتج عنه اختلافات كبيرة فى البيئه اللازمه لنمو النبات .

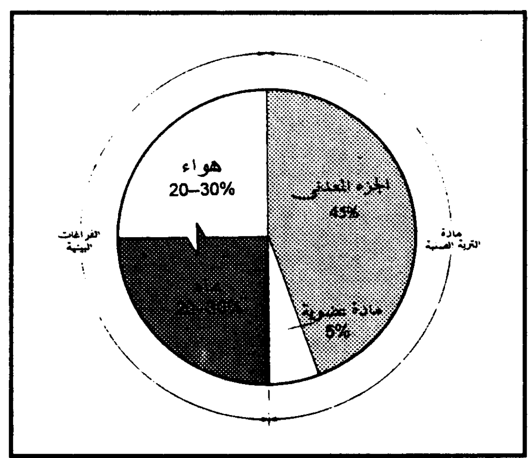
ويختلف التركيب الحجمى لتحت سطح التربه عن مثيله فى سطح التربه فنجد أن تحت سطح التربه يحتوى على نسبه أقل من الماده العضويه والفراغات البينيه وتكون نسبة الفراغات البينيه المملوءة بالماء أكبر من نسبة الفراغات البينيه المملوءة بالهواء .

(أ) المكونات المعدنيه (غير العضويه) فى التربه

Mineral (Inorganic) Constituents in Soils

تختلف المكونات غير العضويه فى الأتربه إختلافا كبيرا فى الحجم والتركيب . فهذه المكونات تتراوح من قطع صخريه مفتته Fragments إلى معادن مختلفة الأنواع والتركيب . وغالبا ما تتكون القطع الصخريه المفتته من تجمعات من المعادن وهذه

القطع المفتته هى عبارة عن بقايا الصخور التى يتكون منها الريجوليث Regolith وبالتالى التربه بعد تعرضها لعوامل التجويه المختلفه .



شكل (4-1) :
التركيب الحجمى لتربه لوميه سطحيه تحت ظروف ملائمه لنمو النبات ويتوقف مدى ملائمة التربه لنمو النبات على نسب الفراغات البينيه المملوءة بالهواء والماء .

والحبيبات المعدنيه الموجودة فى التربه تختلف اختلافا كبيرا فى الحجم فنجد أن التربه تحتوى على ما يلى :

أ) قطع حصويه ذات حجم كبير نسبيا .

ب) حبيبات الرمل Sand وهى حبيبات أصغر حجما من الحصى ومدى قطر حبيبات الرمل (0.05 - 2mm) ويمكن مشاهدة هذه الحبيبات بالعين المجردة .

ج) السلت Silt وهى حبيبات أصغر حجما من الرمل مدى قطر حبيبات السلت (0.002-0.05mm) ويمكن مشاهدة هذه الحبيبات بواسطة الميكروسكوب .

د) الطين Clay : وتعتبر أصغر الحبيبات المعدنيه الموجوده فى التربه وقطر حبيبات الطين (0.002mm >) ويمكن مشاهدتها بالميكرسكوب الالكترونى . وتتميز حبيبات الطين ذات القطر الاصغر من (Imicrometer lum) بامتلاكها خاصية الغرويات (سوف يتم الحديث عنها فى الفصول القادمه) .

ويوضح الجدول (1-1) الخواص العامه للحبيبات المعدنيه فى التربه ويتضح من الجدول أن الخواص الفيزيائيه للتربه وكذلك قدرة التربه على إمداد النبات بالعناصر الغذائيه يتوقف إلى حد كبير على حجم الحبيبات المعدنيه الموجوده فى التربه .

جدول (1-1) : الخواص العامه لحبيبات التربه المعدنيه

الخاصيه	رمل (0.05-2mm)	سلت (0.002-0.05mm)	طين (< 0.002mm)
١- طريقة الفحص	العين المجرده	ميكروسكوب	ميكروسكوب الكتروني
٢- المعادن السائدة	أوليه	أوليه وثانويه	ثانويه
٣- تجاذب الحبيبات مع بعضها.	منخفض	متوسط	عالى
٤- تجاذب الحبيبات مع الماء.	منخفض	متوسط	عالى
٥- القدرة على مسك العناصر الغذائيه وإمداد النبات بهذه العناصر .	منخفضه جدا	منخفضه	عاليه
٦- خواص التماسك عندما تكون التربه رطبه.	مفرقه	ناعمه	ملتصقه
٧- خواص التماسك عندما تكون التربه جافه.	متفرقه جدا	تشبه البودره	كتل صلبه

(i) المعادن الأوليه والمعادن الثانويه

Primary and Secondary Minerals

تعرف المعادن التى لم يتغير تركيبها منذ خروجها من اللافا المنصهرة molten lava (مثل الكوارتز - ميكا - فلسبارات) باسم المعادن الأوليه Primary minerals وهذه المعادن تسود فى الجزء الرملى والسلتى من التربه .

ويعتبر الجزء المعدنى فى التربه هو المصدر الرئيسى للعناصر الغذائية الضروريه لنمو النبات . وبالرغم من وجود جزء كبير من هذه العناصر فى التركيب البللورى للمعادن فإن الجزء المتبقى والذى يكون موجودا على سطوح حبيبات الطين يعتبر فعالا وهاما لنمو النبات حيث أن جذور النبات تستطيع استخلاص هذه العناصر من على سطوح الحبيبات بواسطة ميكانيكيات خاصة سوف يتم الحديث عنها فى الفصول القادمة .

(ii) بناء التربه Soil Structure

بناء التربه هو نظام ترتيب حبيبات الرمل والسلت والطين فى التربه أو اتحاد هذه الحبيبات فى صورة حبيبات مركبه Aggregates وما ينتج عن ذلك من توزيع هندسى للحبيبات والفراغات فى التربه .

وبناء التربه يحدد إنتقال الماء والهواء فى التربه وما يترتب على ذلك من تأثير على نمو جذور النبات وأيضا على نشاط الكائنات الحيه الدقيقة .

(ب) مادة التربه العضويه Soil Organic Matter

تتكون مادة التربه العضويه من بقايا النباتات والحيوانات المتحلله جزئيا وبعض المركبات العضويه المخلقه بواسطة ميكروبات التربه . وتكون هذه المواد العضويه فى حاله مستمرة من التحلل والتحليق بواسطة الأحياء الموجودة فى التربه ولذلك فإن مادة التربه العضويه يعتبر مكون إنتقالى فى التربه قد ينتهى فى فترة تتراوح من ساعات إلى مئات السنين . ولذلك فإن الحفاظ على مادة التربه العضويه يستلزم الأضافه المستمرة لبقايا النباتات والحيوانات إلى التربه .

ومحتوى التربه المعدنيه من المادة العضويه يعتبر صغيرا فهو يتراوح من 1- 6% بالوزن فى سطح التربه ويكون أقل من ذلك تحت سطح التربه . وبالرغم من صغر هذه النسبه فإن تأثير الماده العضويه على خواص التربه وبالتالى على نمو النبات هاما للغايه . وتعمل مادة التربه العضويه على ربط وتجمع الحبيبات المعدنيه فى التربه ببعضها وبالتالى فهى المسئوله عن خلق الظروف الملائمه لنمو النبات . أيضا وجود الماده العضويه يؤدى إلى زيادة مقدرة التربه على الأحتفاظ بالماء. وتعتبر مادة التربه

العضويه هى المصدر الرئيسى لعناصر الفوسفور والنيتروجين والكبريت كما أنها المصدر الرئيسى للطاقه اللازمه لميكروبات التربه وما يتبعه من نشاط بيوكيميائى فى التربه .

مادة التربه العضويه تحتوى على مركبات مقاومه للانحلال ويطلق على هذه المركبات بالأضافه إلى بقايا النباتات والحيوانات والمواد المخلقه بواسطة ميكروبات التربه أسم الدبال humus . وهذه المادة تتميز بصغر حجمها (حجم الغرويات) وتكون ذات لون داكن ومقدرة الدبال على مسك الماء والعناصر الغذائيه تفوق تلك المقدرة الخاصة بالطين ولذلك فان وجود كميات صغيرة من الدبال يؤدى إلى زيادة قدرة التربه كبيئه لنمو النبات .

(جـ) ماء التربه ـ المحلول الديناميكى

Soil Water - A Dynamic Solution

سوف نتناول ماء التربه بمفهومين أساسيين يركزان على أهمية هذا المكون لنمو النبات وهما :

١- الماء الممسوك فى مسام التربه وتتوقف درجة مسك التربه للماء على كمية الماء الموجودة فى المسام وأيضا على حجم هذه المسام .

٢- ماء التربه وما يحتوى من مكونات ذائبه فيه بما فى ذلك العناصر الغذائيه (كالسيوم - بوتاسيوم ـ فوسفور ـ نتروجين وخلافه) ويطلق عليه المحلول الأرضى Soil Solution والذى يعتبر الوسط الذى يستمد منه النبات معظم العناصر الغذائيه اللازمه لنموه .

عندما يكون المحتوى الرطوبى فى التربه مثاليا لنمو النبات (شكل 1-4) فإن الماء الموجود فى المسام ذات الأحجام الكبيرة والمتوسطه تكون له المقدرة على الحركه فى التربه ويمكن للنبات الاستفاده منه . وحركة الماء قد تكون إلى أسفل نتيجه للجاذبيه الأرضيه أو إلى أعلى لتعويض الماء المفقود بواسطة البخر أو إلى اى اتجاه ناحية جذور النباتات حيث يقوم الجذور بامتصاصه . وعلى الرغم من أن النبات النامى يمتص جزء كبير من ماء التربه فإن البعض منه يظل موجودا فى المسام الصغيره وكغشاء حول الحبيبات وذلك لأن حبيبات التربه تمسك هذا الماء بقوه كبيره وبالتالى تتنافس مع

النبات فى الحصول على الماء ولذلك فإن الماء الموجود بالتربه لا يكون متاحا بالكامل للنبات فحوالى 2/3 - 1/4 الماء الكلى يكون موجودا بالتربه بعد ذبول النبات وموته ويتوقف ذلك إلى حد كبير على نوع التربه .

المحلول الأرضى Soil Solution

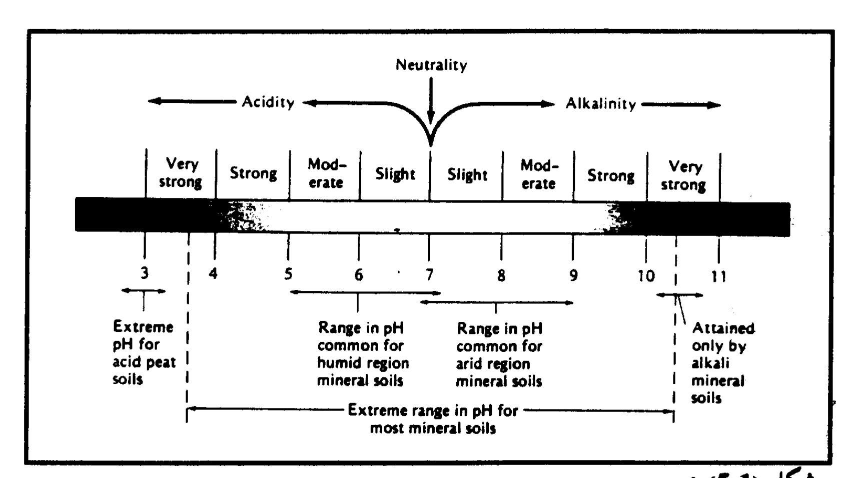
يحتوى المحلول الأرضى على كميات صغيره ولكن معنويه من الأملاح غير العضويه والعضويه الذائبه ويشمل ذلك العناصر الضروريه لنمو النبات . ويوضح الجدول (1-2) 17عنصرا أساسيا ومصادر هذه العناصر . فالجزء الصلب من التربه (العضوى وغير العضوى) يقوم بإطلاق هذه العناصر إلى المحلول الأرضى ليمتصها النبات بعد ذلك .

والخاصيه الكيميائيه الأخرى الهامه للمحلول الأرضى هو قلويه أو حموضة هذا المحلول حيث أن كثير من التفاعلات الكيميائيه والبيولوجيه التى تحدث فى التربه تتوقف على تركيز أيونات الهيدروجين (H) أو الهيدروكسيل (OH) فى التربه وبالتالى فإن درجة حموضه التربه لها تأثير كبير على ذائبيه العناصر الضروريه للنبات مثل الحديد والمنجنيز والفوسفور والزنك والموليبدنوم وبالتالى على صلاحية هذه العناصر بالنسبه للنبات .

جدول (1-2) : العناصر الغذائيه الضروريه للنبات ومصادرها

عناصر يحتاجها النبات بكميات صغيرة		عناصر يحتاجها النبات بكميات كبيرة			
من الجزء الصلب من التربه		من الجزء الصلب من التربه		من الهواء والماء	
الحديد	(Fe)	نيتروجين	(N)	كربون	(C)
المنجنيز	(Mn)	فوسفور	(P)	هيدروجين	(H)
بورون	(B)	بوتاسيوم	(K)	أوكسجين	(O)
موليبدنوم	(Mo)	كالسيوم	(Ca)		
نحاس	(Cu)	مغنسيوم	(Mg)		
زنك	(Zn)	كبريت	(S)		
كلور	(Cl)				
كوبالت	(Co)				

وتركيزات أيونات الهيدروجين فى المحلول الأرضى يتم الحصـول عليهـا بتقديـر درجة الحموضه (pH المحلول) ويوضح الشكل (1-5) مدى الـ pH لأنواع عديدة من الأتربه فى مناطق مختلفه من العالم . وسوف نرى فى الفصول القادمـه أن درجـة pH التربه تؤثر بدرجة كبيرة على جميع التفاعلات الكيميائيه التى تحدث فى التربه .



شكل (5-1) :

مدى الـ pH لأغلب الأتربه المعدنيه بما فى ذلك أتربه المناطق الرطبـه والمنـاطق الجافـه . كمـا يوضـح الشكل درجة الـ pH العظمـى للأراضـى القاعديه وأقـل درجـة pH يمكـن أن تتواجـد فـى الاتربـه شديدة الحموضه .

(د) هواء التربه ـ المكون المتغير

Soil Air - Another Changeable Constituent

يختلف هواء التربه عن الهواء الجوى فى نواحى عديدة نذكر منها مايلى :

١- هواء التربه يعتبر شديد الديناميكيه حيث يتغير بدرجه كبيره من مكان إلى مكان فى التربه الواحده . ففى بعض الأماكن يتم أستهلاك الغـازات بواسـطة جـذور النبات وميكروبات التربه بينما فى أماكن أخرى يحدث أنطلاق لهذه الغـازات . ونتيجه لذلك يحدث تعديل كبير فى مكونات هواء التربه .

٢- المحتوى الرطوبى لهواء التربه بوجه عام أعلى من المحتوى الرطوبى للهواء الجـوى

فالرطوبه النسبيه لهواء التربه يصل إلى 100% عندما يكون المحتوى الرطوبى فى التربه مثاليا optimum .

٣- نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء التربه أعلى مئات المرات من النسبه الموجوده فى الهواء الجوى (0.03%) وبالتالى فإن نسبة الاكسجين فى هواء التربه تقل وقد تصل إلى 5-10% بينما نسبة الاكسجين فى الهواء الجوى تكون حوالى 20% .

ويتحدد محتوى وتركيب هواء التربه تبعا لمحتوى التربه من الماء لأن الهواء يحتل مسام التربه غير المملوءة بالماء فبعد الرى أو وسقوط أمطار غزيرة فإن المسام الكبيره تفقد الماء الموجودة بها ويحل محلها الهواء ويلى ذلك فقد الماء من المسام متوسطة الحجم وفى النهايه المسام صغيرة الحجم التى تفقد الماء الموجودة بها نتيجة البخر وإمتصاص النبات للماء . وهذا الترتيب المتعاقب للصرف يوضح السبب فى أن الأتربه التى تحتوى على نسبه كبيره من المسام صغيرة الحجم تكون رديئه التهويه لأن الماء فى هذه الحاله يكون هو السائد ويصبح محتوى التربه من الهواء قليلا وبالتالى فإن معدل إنتشار الهواء من وإلى التربه للوصول إلى حالة اتزان مع الهواء الجوى يكون بطيئا . والنتيجه النهائيه لذلك هو مستوى عالى من ثانى أكسيد الكربون فى التربه ومستوى منخفض من الاكسجين فى التربه وهذه الظروف تعتبر ظروفا غير مثاليه لنمو النبات ولبعض ميكروبات التربه وهذا يوضح العلاقه بين الخواص الفيزيائيه للتربه وتركيب هواء التربه .

(هـ) التربه والكائنات الحيه The Soil and Living Organisms

تحتوى التربه على أنواع عديدة من الكائنات الحيه تشمل النباتات والحيوانات . وتتراوح أحجام الكائنات الحيه من أحجام كبيره مثل جذور الأشجار والديدان الأرضيه والحشرات إلى أحجام صغيرة جدا مثل البكتريا . ويختلف عدد ووزن الكائنات الحيه من تربه إلى أخرى . فمثلا جرام واحد من التربه قد يحتوى من بضعة مئات الالاف إلى عدة بلايين من البكتريا تبعا للظروف السائده فى التربه . وفى جميع الأحوال فإن كمية الكائنات الحيه بما فى ذلك جذور النباتات تكون كافيه للتأثير على الخواص الفيزيائيه والكيميائيه والبيولوجيه للأتربه .

وتختلف أنشطة الكائنات الحيه فى التربه اختلافا كبيرا فبعض الحشرات والديدان الأرضيه لها القدرة على تفتيت بقايا النباتات ميكانيكيا فقط بينما الكائنات الحيه الدقيقه مثل البكتريا والفطريات والأكيتنومايسيتات تكون لها القدرة على تحليل بقايا النباتات تحللا كاملا بالأضافه إلى ذلك فإن تكوين الدبال humus والذى يعتبر أنشط المركبات الموجودة فى التربه كيميائيا وفيزيائيا يعتبر نتاج نشاط الكائنات الحيه الدقيقه.

ونتيجة لعمليات التحلل بفعل كائنات التربه تنطلق العناصر الغذائيه الأساسيه لنمو النبات مثل الفوسفور والنيتروجين والكبريت كما أن بعض الكائنات الحيه الدقيقه لها القدرة على تغيير حالة الأكسدة والأختزال التى تتواجد عليها العناصر الغذائيه بصفه عامه وما يتبع ذلك من تأثير على نمو النبات وأيضا على صفات التربه .

الطين والدبال (مركزى النشاط فى التربه)

Clay and humus - The Seat of Soil Actioity

يتميز كلا من الطين والدبال بنشاط ديناميكى كبير نظرا لصغر أحجامهما وبالتالى كبر السطح النوعى لكل وحدة وزن وأيضا نتيجة إمتلاك الطين والدبال شحنات سطحيه قادره على جذب الأيونات الموجبه والسالبه الشحنه وكذلك الماء .

وادمصاص الأيونات مثل Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ على سطوح غرويات الطين والدبال جعل من الممكن لهذه الأيونات أن تتبادل exchange مع الأيونات المجاورة لها والموجوده فى المحلول الأرضى Soil Solution . فمثلا أيون الهيدروجين H^+ الذى يتحرر من جذور النبات إلى المحلول الأرضى يمكن أن يحل محل (يتبادل) أيون البوتاسيوم (K^+) المدمص على سطح غرويات التربه . وبالتالى يصبح أيون البوتاسيوم فى المحلول الأرضى صالح للأمتصاص بواسطة جذور النبات . والمعادله التاليه تمثل التبادل الكاتيونى السابق ذكره وتوضح أهمية التبادل الكاتيونى لنمو وتطور النبات .

$$\boxed{\text{Colloid}}\ K^+ + H^+(aq) \rightarrow \boxed{\text{Colloid}}\ H^+ + K^+(aq)$$

(adsorbed) (in Soil Solution) (adsorbed) (in Soil Solution)

أيضا يؤثر الطين والدبال على الخواص الفيزيائيه للتربه بدرجه كبيره حيث تعمل السطوح المشحونه كرابط Bridge يربط بين حبيبات التربه وبالتالى يساعد على تكوين وثبات تجمعات الحبيبات Aggregates وأيضا المساميه .

السعه التبادليه والقدره على مسك الماء فى الدبال تعتبرأكبر من مثيلاتهما فى الطين وذلك على أساس الوزن ولكن كبر كمية الطين فى الأتربه بالمقارنه بكمية الدبال تجعل مساهمة الطين وتأثيره على الخواص الكميائيه والفيزيائيه للتربه أكبر من الدبال ولذلك فالأتربه جيدة الانتاج يجب أن تحتوى على كميات متوازنه من الدبال والطين . ومما سبق يتضح أن نمو النبات وتطوره وأيضا إنتاجية التربه تتوقف على محتوى التربه من الدبال والطين والهواء الأرضى والماء الأرضى .

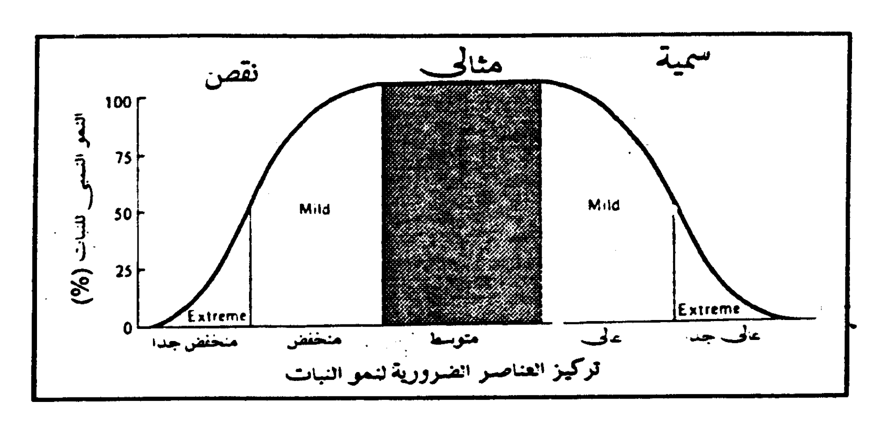
التفاعل بين مكونات التربه لإمداد النبات بالعناصر الغذائيه

Interaction between Soil components

فى مناقشتنا لمكونات التربه الأربع (المعادن ـ المادة العضويه ــ الماء ــ الهواء) تم توضيح أثر هذه المكونات على نمو النبات ويجب القول أن مكونات التربه لا تؤثر على نمو النبات بصورة مستقله عن بعضها البعض وإنما تعمل بصورة متكامله فمثلا رطوبة التربة التى تمد النبات بالماء اللازم لنموه تتحكم فى نفس الوقت فى كمية الهواء التى تصل إلى النبات . أيضا تعمل المادة العضويه على ربط حبيبات التربه بعضها ببعض ويؤدى ذلك إلى زيادة عدد المسام الكبيره Large pores فى التربه وهذا بالتالى يؤثر على علاقات الماء والهواء فى التربه .

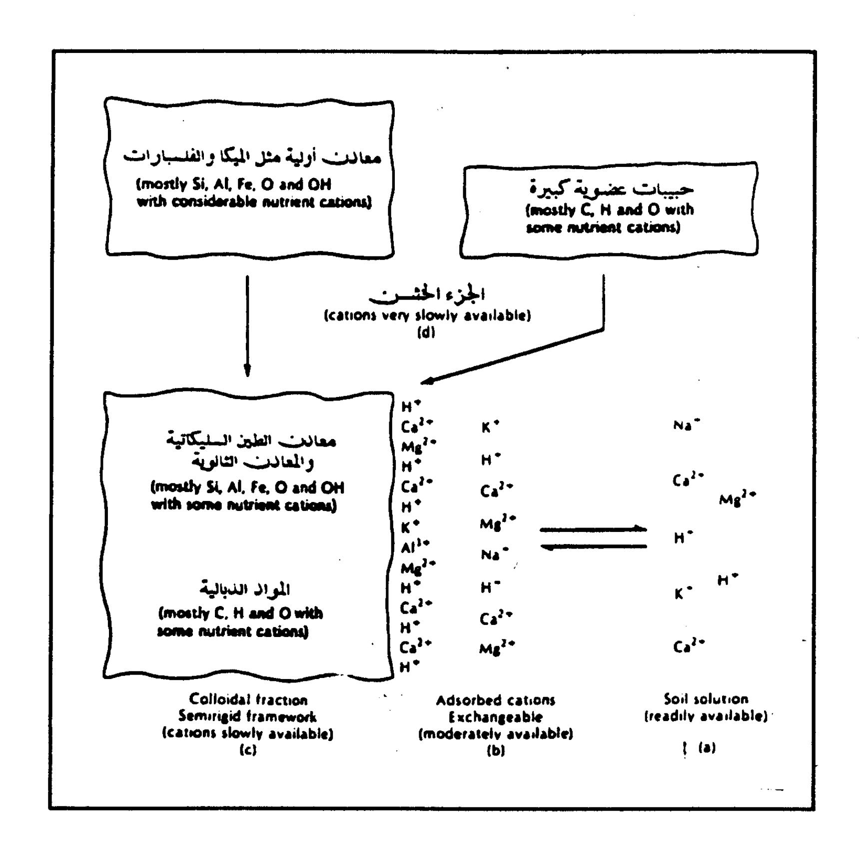
صلاحية العناصر الغذائيه الأساسيه Essential Element Availability

يمتص النبات العناصر الغذائيه الضروريه وكذلك الماء من المحلول الأرضى ومع ذلك فإن كمية العناصر الغذائيه فى المحلول الأرضى تعتبرغير كافيه لأنتاج المحصول (شكل 1-6) وبالتالى فإن المحلول الأرضى يجب إمداده بصورة مستمره بالعناصر الغذائيه وذلك لتعويض ما يمتصه النبات ويتم هذا الإمداد عن طريق الجزء غير العضوى أو الجزء العضوى من التربه أو يتم عن طريق إضافة الأسمدة إلى التربه .



شكل (1-6) :
العلاقه بين نمو النبات وتركيز العناصر الضروريه لنمو النبات فى المحلول الأرضى . يجب إضافة العناصر الغذائيه للمحلول الأرضى بكميات كافيه حتى يمكن للنبات ان ينمو نموا طبيعيا .

ولحسن الحظ فإن كميات كبيره من العناصر تكون مصاحبه للجزء الصلب من التربه فى صورتيه العضويه وغير العضويه وعن طريق العمليات الكيميائيه والبيوكيميائيه فى التربه يتم امداد المحلول الأرضى بالعناصر الغذائيه لتعويض كمية العناصر الغذائيه التى أمتصت بواسطة النبات . فمثلا يحدث إنطلاق لعنصرى الكالسيوم Ca^{2+} ، البوتاسيوم K^{+} من سطوح غرويات الطين والدبال إلى المحلول الأرضى من خلال عمليات التبادل الأيونى . كما أن كثير من أيونات العناصر الغذائيه تتحرر عند تحلل البقايا العضويه بفعل ميكروبات التربه . وبالتالى فإن جذور النبات تستطيع أن تمتص العناصر الغذائيه اللازمه لها من المحلول الأرضى . ويتواجد الجزء الأكبر من العناصر الغذائيه فى التركيب البنائى لمعادن الطين الأوليه والثانويه والماده العضويه وبمرور الزمن يحدث أنطلاق وتحرر هذ العناصر وبالتالى فإن التركيب البنائى للجزء الصلب من التربه يعتبر مصدرا هاما للعناصر الغذائيه بالنسبه للنبات . ويوضح الشكل (1-7) كيفية تفاعل الجزء الصلب من التربه مع المحلول الأرضى لإمداد النبات بالعناصر الغذائيه الضروريه لنموه . أيضا يوضح الجدول رقم (1-3) محتوى أتربه المناطق الجافه والرطبه من بعض العناصر الغذائيه الضروريه لنمو النبات .



شكل (1-7) :

يوضح العلاقه بين مكونات التربه المختلفه ببعضها لإمداد النبات بالعناصر الغذائيه :

(**a**) العناصر الغذائيه فى المحلول الأرضى تعتبر الصوره الصالحه للامتصاص بواسطة النبات

(**b**) الكاتيونات المدمصه والتى تتبادل مع الكاتيونات فى المحلول الأرضى وتعتبر متوسطة الصلاحيه **moderately available**

(**c**) الكاتيونات الموجوده فى التركيب البنائى للطين والدبال وتعتبر الصوره بطيئه الصلاحيه **slowly available**

(**d**) الكاتيونات الموجوده فى المعادن الأوليه والتى تنطلق نتيجة عمليات التجويه وتعتبر الصوره شديدة البطء فى الصلاحيه **very slowly available**

جدول (3-1) : كميات ست عناصر غذائيه ضروريه للنبات فى أتربه بعض المناطق الجافه والرطبه.

العنصر الغذائي	تربه ممثله للمناطق الجافه			تربه ممثله للمناطق الرطبه		
	فى المحلول الأرضى (kg / ha)	متبادل (kg / ha)	فى الجزء الصلب (kg / ha)	فى المحلول الأرضى (kg / ha)	متبادل (kg / ha)	فى الجزء الصلب (kg / ha)
Ca	140-280	5.625	20,000	60-120	2,250	8,000
Mg	25-40	900	14,000	10-20	450	6,000
K	15-40	250	45,000	10-30	190	38,000
P	0.1-0.2	-	1,600	0.05-0.15	-	900
S	6-30	-	1,800	2-10	-	700
N	5-20	-	2,500	7-25	-	3,500

الفصل الثانى

التجـــويـه

Weathering

- تقسيم وخواص الصخور
- التجـويـه
  - العمليات الميكانيكية للتجويه
  - العمليات الكيميائية للتجويه
  - تكامل عمليات التجويه
  - العوامل المؤثرة على تجويه المعادن



2

التجـــــويـــــه

Weathering

تقسيم وخواص الصخور Classification and Properties of Rocks

الصخور هى الوحدات الأساسية فى بناء هيكل الأرض وتقسم صخور القشرة الأرضية تبعا لأصل تكوينها إلى ثلاث مجموعات وهى الصخور النارية ، الصخور الرسوبية ، والصخور المتحولة .

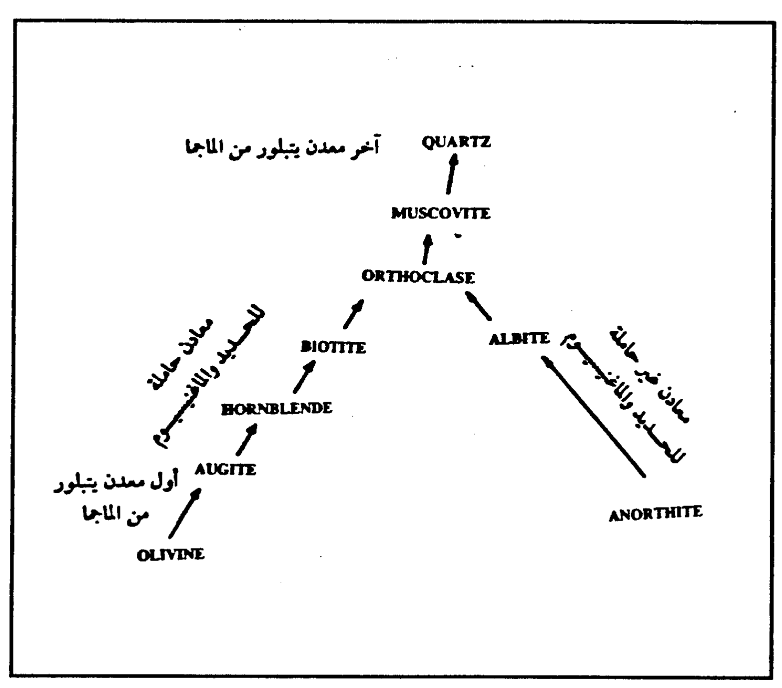
أولا : الصخـــور النارية Igneous Rocks

وهى صخور أولية تكونت من مصهور المعادن Magma وهى تمثل 95% من كتلة القشرة الأرضية ويدخل فى تركيبها ثمان عناصر أساسية هى : الأكسيجين ، السليكون ، الألومنيوم ، الحديد ، الكالسيوم ، الصوديوم ، البوتاسيوم ، الماغنسيوم ومعادن السليكات الأولية مثل الفلسبارات ، الأوليفين ، البيروكسين ، الأمفيبول ، الكوارتـــز والميكا .

فعند برودة الماجما يحدث بها إنفصال تفاضلى لمكوناتها فتنفصل المعادن الصعبة الإنصهار أولا يليها الأقل صعوبة أى تحتاج لدرجة حرارة أقل من السابقة لإنصهارها (شكل 2-1) وهذا يفسر لنا سبب إختلاف تركيب الصخور المتكونة من الماجما نفسها.

وتعرف المعادن الأولية بأنها تلك المعادن ذات التركيب الكيماوى الثابت لأنها تكونت من الماجما المنصهرة بينما تعرف المعادن الثانوية بأنها تلك المعادن التى تكونت

من نواتج تحلل المعادن الأولية بفعل التجويه الكيميائية أى أن تركيبها الكيميائى يختلف عن المعادن الأولية المتكونة منها .



شكل (2-1) : الإنفصال التفاضلى لمكونات الماجما عند برودتها .

تقسيم الصخور النارية طبقا لنسبة السليكا

إستخدمت نسبة السليكا كمقياس لتقسيم الصخور النارية نظراً لما لها من تأثير على تفاعل الصخر فكلما إرتفعت نسبة السليكا إزداد الصخر حموضة والعكس فالصخر يتحول للقلوية بإنخفاض نسبة السليكا (جدول 2-1) وعموما نجد أن الجابرو والبازلت يكون أكثر تأثراً بعوامل التجويه من الجرانيت والصخور ذات اللون الفاتح.

ثـانيـا : الصـخور الرسوبية Sedimentary Rocks

تمثل الصخور الرسوبية حوالى 1% من كتلة صخور القشرة الأرضية ومع ذلك فهى تعتبر أكثر صخور القشرة الأرضية أهمية بالنسـبة للإنتـاج الـزراعى وتتكون

الصخور الرسوبية بتعرية فتات الصخور الأخرى سواء كانت نارية أو رسوبية أو متحولة وترسيبها على سطح الأرض تحت درجة الحرارة والضغط الجوى وتمر هذه الصخور بعدة مراحل يمكن إيجازها فيما يلى :

١. تجويه الصخر الأصلى (ميكانيكية - كيميائية - حيوية)

٢. نـــقـــل نواتج التجويه بالماء الجارى ، الرياح - الثلاجات والجاذبية

٣. ترسيب المواد المنقولة بأماكن الترسيب

٤. إنضغاط وإلتحام الرواسب فى صورة صخر صلب

جدول (2-1) : تقسيم الصخور طبقا لنسبة السليكا

نوع الصـــخر	الســـليكا %	الـــلـــون	أمثـــلة
صخور نارية حامضية	65-80	فاتـــح	جرانيت - ريوليت
صخور نارية متعادلة	55-65	وســـط	ديوريت - سيانيت
صخور نارية قاعـــدية	أقل من 65	داكـــن	بازلت - جـــابرو

تقســـيم الصخـــور الرسوبية

تقسم الصخور الرسوبية طبقاً لنشأتها sedimentary origin إلى :

١- صخـــور رســوبية ميكانيكية

وهى تلك الصخور التى تكونت بفعل العوامل الطبيعية حيث تتفتت حبيبات الصخر الأصلى وتترسب بواسطة الرياح أو المياه أو الجاذبية دون أن يحدث بها تحلل أى أنها تحتفظ بتركيب الصخر الأصلى ومثال ذلك الحجر الرملى Sandstone فهو يعتبر ناتج تجويه صخر الجرانيت الذى يتفتت ويترسب على شاطىء البحار وخلال التغيرات الجيولوجية تلتحم حبيبات الرمل بمواد لاحمة (سليكا - كربونات كالسيوم - أكاسيد حديد) مكونة الحجر الرملى . وأيضا الطين الملتحم ببعض يطلق عليه طفل Shale والجدول رقم (2-2) يوضح أمثلة لبعض الصخور الرسوبية الهامة والمعادن السائدة فيها . ومقاومة الصخر الرسوبى لعوامل التجويه يتوقف على المعادن السائدة فيه وتركيب المادة اللاحمة.

جدول رقم (2-2): أمثلة لبعض الصخور الرسوبية والمتحولة والمعادن السائدة فيهم

Dominant mineral	Type of rock	
	Sedimentary	Metamorphic
Calcite ($CaCO_3$)	Limestone	Marble
Dolomite ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$)	Dolomite	Marble
Quartz (SiO_2)	Sandstone	Quartzite
Clays	Shale	Slate
Variable	Conglomerate	Gneiss
Variable		Schist

ثـالثـا : الصخـور المتحـولة Metamonphic Rocks

وهى صخور نارية أو رسوبية طرأت عليها تغيرات طبيعية أو كيميائية أو هما معاً نتيجة الحرارة والضغط العاليين تحت سطح التربة فيتحول الصخر إلى صخر جديد يختلف فى خواصه عن الصخر الأصلي وعند تحول الصخور الرسوبية لصخور متحولة فإنها تصبح أشد صلابة وأكثر تبلوراً أما الصخور النارية فإنها تكتسب شكلا أكثر إنتظاما عند تحولها والجدول (2-3) يوضح بعض المعادن المتحولة الهامة وكما هو الحال فى الصخور الرسوبية والنارية فإن المعادن السائدة فى الصخور المتحولة هى التى تحدد درجة مقاومة هذه الصخور لعوامل التجويه .

التجـويه : نـظـرة عـامـه Weathering - A General Case

التجويه هى العمليات الخارجية exogenic التى تحدث للصخور والمعادن بالطبقة السطحية من القشرة الأرضية ، من تكسير طبيعى وتحول كيميائى وحيوى وتودى إلى تفتيت disintegration وتحلل decomposition الصخر. ويمكن النظر إلى التجويه عموما بأنها مزيج من عوامل التفتيت والتحلل والتخليق فبحدوث التجويه تتفتت الصخور بفعل عوامل التجويه الفيزيائية ويتم تحول فتات الصخور وماتحتويه من معادن إلى معادن أخرى جديدة بفعل عوامل التجويه الكيميائية وعادة مايصاحب هذا التغير الكيميائى صغر حجم الحبيبات وإنطلاق بعض المكونات الذائبة التى غالبا

ما تفقد مع مياه الصرف أو تستخدم لتكوين معادن ثانوية والشكل رقم (2-2) يوضح المعادن الثانوية المتكونة نتيجة لفعل عوامل التجويه ويمكن تقسيم هذه المعادن إلى :

١. **معادن الطين السليكاتية** : وهى عبارة عن إعادة تكوين نواتج تحلل المعادن الأولية.

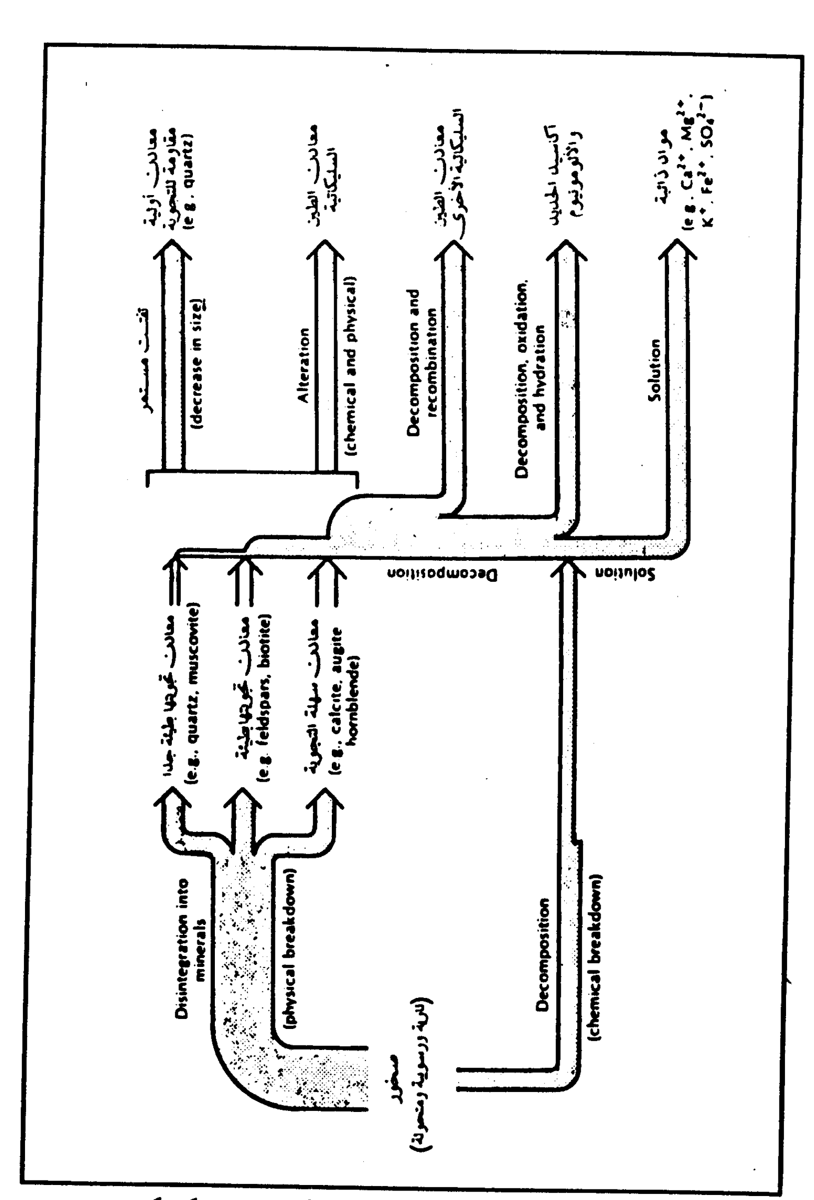
٢. **أكاسيد الحديد والألمونيوم** : والتى تعتبر من المعادن المقاومة للتجويه .

٣. **الكوارتـــز** : وهو أكثر المعادن الأولية مقاومة للتجويه وأراضى المناطق الإستوائية يسود فيها أكاسيد الحديد والألمونيوم بينما يسود الكوارتز فى أراضى المناطق الجافة.

جدول (2-3): بعض المعادن الأولية والثانوية الهامة فى الأتربة مرتبة طبقاً لدرجة مقاومتها لعوامل التجـــويه .

Primary minerals		*Secondary minerals*	
		Geothite	FeOOH
		Hematite	Fe_2O_3
		Gibbsite	$Al_2O_3 \bullet 3H_2O$
Quartz	SiO_2		
		Clay minerals	Al silicates
Muscovite	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$		
Microcline	$KAlSi_3O_8$		
Orthoclase	$KAlSi_3O_8$		
Biotite	$KAl(Mg,Fe)_3Si_3O_{10}(OH)_2$		
Albite	$KAlSi_3O_8$		
Hornblende[a]	$Ca_2Al_2Mg_2Fe_3Si_6O_{22}(OH)_2$		
Augite[a]	$Ca_2(Al,Fe)_4(Mg,Fe)_4Si_6O_{24}$		
Anorthite	$CaAl_2Si_2O_8$		
Olivine	$(Mg,Fe)_2SiO_4$		$CaCO_3 \bullet MgCO_3$
		Dolomite	
		Calcite	
		Gypsum	

[a] The given formula is only approximate since the mineral is so variable in composition.



شكل (2-2): خطوات ونواتج التجويه الكيميائية والميكانيكية

والتجويه عموما تـشـمل :

(١) عمليات ميكانيكية Mechanical Processes

وغالباً مايطلق على هذه العملية لفظ تفتت disintegration وينشأ عنها نقص فى حجم الصخور والمعادن دون أن يحدث أى تغير فى التركيب الكيميائى .

(٢) عمليات كيميائية Chemical Processes

وغالبا ما يطلق على هذه العملية لفظ تحلل decomposition وينشأ عنها تغير كيميائى فى تركيب الصخر الأصلى وإنطلاق مواد ذائبة وتكوين معادن جديدة.

ويمكن تقسيم فعل العمليات السابق ذكرها كما يلى :

(١) العمليات الميكانيكية (التفتت)

أ - درجة الحرارة Temperature

ب - التعرية والترسيب Erosion and Deposition

جـ - تأثير النبات والحيوان Plant and Animal Influences

(٢) العمليات الكيميائية (التحلل) Chemical (Decomposition)

أ - التحلل المائى Hydrolysis

ب - التأدرت Hydration

جـ - الإذابة Dissolution

د - الحموضة Acidification

هـ - الأكسدة Oxidation

أولا : العمليات الميكانيكية للتجويه (تفـتـت)

Meehanical Processes of Weathering (Disintegration)

أ - درجة الحـرارة Temperature

تعتبر الصخور بصفة عامة مواد رديئة التوصيل للحرارة لذا فإن أسطح الصخور الخارجية ترتفع درجة حرارتها بإرتفاع درجة حرارة الجو فى حين تظل درجة حـرارة

الجزء الداخلى منخفضة والعكس بإنخفاض درجة حرارة الجو ويتسبب ذلك فى حدوث عمليات تمدد وإنكماش متبادلة بالأسطح الخارجية للصخر أكثر منها فى الداخل وينتج عن ذلك ضغط داخلى بالصخر stress مسببا تشقق أسطحه وتكسرها. وهذه الظاهرة يزداد تأثيرها عند إنخفاض درجة الحرارة لأقل من 4°C مما ينتج عنه تجمد الماء الموجود بشقوق ومسام الصخر فيزداد حجمه بنسبة 9% من الحجم الأصلى مما ينشأ عنه ضغط داخلى على الأسطح الخارجية لكتل الصخر يعادل 1465 طن/ متر مربع .

وهذا العامل له أهمية بالنسبة للمناطق الصحراوية. وذلك لإتساع الفرق بين درجة حرارة الجو فى النهار عنها فى الليل . ومن المألوف سماع صوت يشبه طلقات المسدس بالصحارى الجافة وذلك نتيجة تشقق الصخور بتأثير تغيرات درجة الحرارة . (Ollier, 1975 ; Sparks, 1976)

ب – التعرية والترسيب بواسطة الماء والثلج والرياح
Erosion and Deposition by Water, Ice and Wind

سقوط الماء على سطح الأرض وحركته بعد ذلك بما يحمله من حبيبات عالقة بفعل تيارات الماء والهواء يسبب تآكل الصخر فى مواضع الإحتكاك ومن الأمثلة على ذلك تكوين مجارى الأنهار مثل نهر النيل والمسيسيى كما أن وجود حبيبات الرمل فى شكل دائرى على شواطىء البحار هو أكبر دليل على تأثير التآكل بالإحتكاك abrasion المصاحب لحركة الماء . أيضا الثلج يعتبر عامل هام من عوامل التعرية والدليل على ذلك فعل التآكل بالإحتكاك أثناء إنزلاق الثلاجات glaciers بالمناطق الباردة فى تكوين أراضى الثلاجات till .

الرياح أيضا لها قوة إحتكاكية كبيرة abrasive action وخاصة إذا كانت محملة بالرمال فإصطدام الرياح المحملة بالرمال بكتل الصخر يكون تأثيرها على مر الزمن مشابهاً لطلقات المدفع الرشاش فتفتت مواطن الضعف بالصخور .

جـ – النبـات والحـيوان Plants and Animals

بعض النبـاتات مثل Mosses & Lichens يمكن أن تنمو على شقوق الصخور وجذور هذه النباتات تحدث ضغط ميكانيكى بين شقوق الصخـور مسببة إزاحتها

وتكسرها. أيضا بعض الحيوانات القارضة يمكن لها أن تقوم بعمل جحور وحجرات فتقوم بتفتيت كميات هائلة من تحت التربة ونقلها للسطح .

وعموما تأثير النبات والحيوان فى هذه المرحلة غير ذات أهمية كبيرة فى تكوين مادة الأصل إذا ماقورن بالتأثير الفيزيائى للماء والثلج والرياح والتغير فى درجة الحرارة.

ثانيا : العمليات الكيميائية للتجويه (تحلل)

Chemical Processes of Weathering (Decomposition)

يظهر الأثر الفعال للتجويه الكيميائية فى المناطق الرطبة والحارة الرطبة ويعتبر الماء من أهم العوامل الضرورية لحدوث التفاعلات الكيميائية نظراً لما له من خواص قطبية. وتزيد التجويه الكيميائية أيضا بوجود الأكسيجين والأحماض العضوية وغير العضوية الناتجة من تحلل بقايا النباتات . وهذه المواد مجتمعة تعمل على تحويل المعادن الأولية (فلسبارات ، ميكا ، ...) إلى معادن ثانوية (معادن الطين) ومواد ذائبة تحتوى على العناصر الضرورية لنمو النبات .

وأهم عمليات التجويه الكيميائية هى التحلل المائى ، التأدرت ، الحموضة ، الأكسدة والإذابة .

(أ) التحلل المائى Hydrolysis

هو عبارة عن عملية غزو أيونات الهيدروجين (هيدرونيوم H_3O^+) للبناء البللورى للمعادن والصخور وينتج عن ذلك إحلال أيونات الهيدروجين محل بعض الأيونات الأساسية فى التركيب البلورى مؤديا لتفكك وإنهيار بناء الصخر وأيضا مثال ذلك هو غزو أيون الهيدرونيوم للبوتاسيوم بين الطبقى interlayer potassium للميكروكلين وللميكا مكوناً الكاؤولينيت .

$$\underset{\text{(Solid)}}{KAlSi_3O_8} + \underset{\text{liquid}}{H_2O} \xrightarrow{\text{hydrolysis}} \underset{\text{solid}}{HAlSi_3O_8} + \underset{\text{(Solution)}}{K^+ + OH^-}$$

$$2HAlSi_3O_8 + 11\,H_2O \xrightarrow{\text{hydrolysis}} Al_2O_3 + 6H_4SiO_4$$

(Solid) liquid solid (Solution)

$$2KAlSi_3O_8 + 2H^+ + 9H_2O \xrightleftharpoons{\text{hydrolysis}} H_4Al_2Si_2O_9 + 4H_4SiO_4 + 2K$$

Orthoclase Kaolinite

والبوتاسيوم الناتج من التفاعلات السابقة يكون ذائباً فى الماء وقد يحدث له إدمصاص على حبيبات التربة أو يمتص بواسطة النبات أو يفقد مع ماء الصرف كما أن حامض سيليسك silicic acid (H_4SiO_4) يمكن أن يفقد ببطء مع ماء الصرف أو يتحد مع المركبات الأخرى لتكوين معادن ثانوية مثل معادن الطين السليكاتية .

(ب) التأدرت Hydration

نتيجة للخاصية القطبية لجزىء الماء ينجذب الماء لأسطح بلورات المعادن والصخور نتيجة لوجود شحنات سالبة غير مشبعة على أسطحها وتسمى هذه العملية بالتأدرت . أى أن التأدرت هو عبارة عن إرتباط جزيئات الماء بالمعادن وهو عادة مايحدث على أسطح وحواف المعدن ولايصاحبه تغيرات كيميائية .

$$Al_2O_3 + H_2O \xrightarrow{\text{hydration}} Al_2O_3 \cdot 3H_2O$$

Hydrated Solid

$$CaSO_4 \xrightarrow{\text{hydration}} CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

Anhydrite Gypsum

ومن الشائع إرتباط جزيئات الماء على أسطح الألومينا والسليكا عند الحواف المتكسرة لمعادن السليكات الطبقية كما فى حالة الميكا وهذا الإرتباط يعمل كقنطرة لدخول أيونات الهيدرونيوم H_3O^+ لغزو التركيب البلورى للمعدن وتعتبر هذه الخطوة بداية لعملية التحلل المائى .

الإذابـــــة Dissolution

الإذابة هى أولى مراحل التحويه الكيميائية ويختلف تأثير الإذابة بإختلاف نوع الملح فذوبان كربونات الكالسيوم يكون بطيئاً جداً (0.0013%) فى حين أن ذوبان الجبس يكون بطيئاً نوعاً (0.24%) أما كلوريد الصوديوم والمغنسيوم فتأثير الإذابة على تجويتهما يكون كبيرا جدا (26.4% ، 41.2% للملحين على التوالى) وكما هو معروف فإن إرتفاع درجة الحرارة له تأثير ملحوظ على ذوبان الأملاح بالتربة وخاصة الأملاح قليلة الذوبان (جدول 2-4) .

جدول (2-4): تأثير درجة الحرارة على ذوبان بعض أملاح التربة الهامة فى الماء

الملـــــح	الذوبـــــان جم / 100 جم		
	درجـــــة الحـــــرارة °م		
	10	30	50
Na_2CO_3	10.9	28.4	32.1
$NaCl$	26.3	26.5	26.9
$MgSO_4$	22.0	28.0	30.8
$CaCl_2$	39.4	50.7	56.0

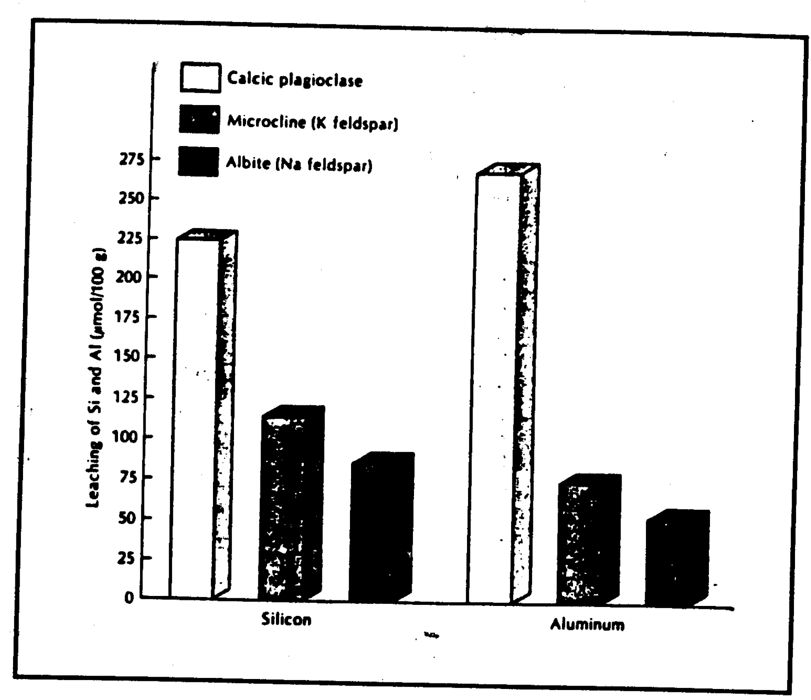
الحـــــموضـــــة Acid Solution Weathering

وجود أيون الهيدروجين كما هو الحال فى حمض الكربونيك والأحماض العضوية له تأثير كبير على الذوبان وبالتالى تجويه المعادن والصخور .

ومثال ذلك وجود حمض الكربونيك (H_2CO_3) ينتج عنه ذوبان الكالسيت فى الحجر الجيرى كما هو موضح فى التفاعل التالى :

$$\underset{\text{Calcite (solid)}}{CaCO_3} + \underset{\text{(solution)}}{H_2CO_3} \longrightarrow \underset{\text{(solution)}}{Ca^{2+} + 2HCO_3}$$

ويتواجد العديد من الأحماض القوية مثل حمض النيتريك (HNO_3) والكبريتيك (H_2SO_4) وبعض الأحماض العضوية فى التربة (شكل رقم 2-3) . كما يتواجد أيضا أيون الهيدروجين مصاحباً للطين فى الأراضى .



شكل (3-2) : تأثير الأحماض العضوية على غسيل السليكون والألومنيوم من الفلسبارات
(Manley and Evans, 1986)

ومصادر الحموضة السابق ذكرها تتيح حدوث التفاعلات الكيميائية مع معادن التربة المختلفة ومثال ذلك تفاعل الطين الحامضى Acid clay مع الأنورثيت Anorthite .

$$CaAl_2Si_2O_8 + \boxed{Clay}\begin{matrix} H^+ \\ \\ H^+ \end{matrix} \longrightarrow H_2Al_2Si_2O_8 + \boxed{Clay}\,Ca^{2+}$$

Anorthite	Acid clay	Acid silicate	Calcium clay
(Solid)	(Solid)	(Solid)	(Solid)

والتفاعل السابق يتم بأن يحل أيون الهيدروجين الموجود على الطين الحمضى محل الكالسيوم الموجود بالمعدن والسليكات الحمضى الناتج يصبح عرضة للإذابة وبالتالى التـــفاعـــل لتكوين معادن الطين السليكاتية .

الأكـــــــدة Oxidation

وهى أهم العمليات التى تحدث بالصخور والتربة تحت ظروف التهوية الجيدة حيث يوجد إمداد كاف من الأكسيجين يوجه أساساً لعمليات الأكسدة . وعملية الأكسدة تكون واضحة فى الصخور التى تحتوى على حديد . فبعض المعادن تحتوى على حديد فى الصورة المختزلة (حديدوز Fe^{2+}) وبتأكسد هذا الأيون إلى حديديك (Fe^{+3}) لابد وأن يحدث تعديل فى الأيونات الأخرى لأن الحديد الثلاثى حل محل الحديد الثنائى مما ينتج عنه تغير فى الحجم والشحنة ونتيجة لذلك يصبح المعدن أقل ثباتاً وبالتالى عرضة للتفتت والتحلل .

وفى حالات أخرى قد ينطلق الحديدوز من المعدن ويتأكسد فى نفس الوقت ومثال ذلك تأدرت الأوليفين Olivine وإنطلاق أكسيد الحديدوز الذى يتأكسد فى الحال إلى أكسيد حديديك (Geothite) .

$$\underset{\text{Olivine}}{3MgFeSiO_4} + 2H_2O \rightarrow \underset{\text{Serpentine}}{H_4Mg_3Si_2O_9} + SiO_2 + \underset{\text{Ferrous oxide}}{3FeO}$$

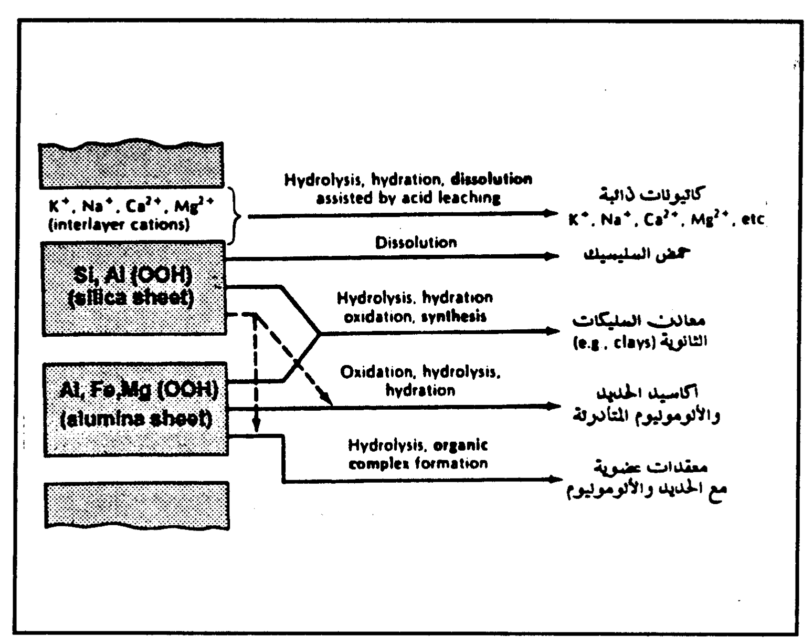
$$4FeO + O_2 + 2H_2O \rightarrow \underset{\text{Geothite}}{4FeOOH}$$

وعموما فى حالة إنطلاق أيون الحديدوز أو أكسدته داخل المعدن فإن ثبات التركيب المعدنى يصبح ضعيفا وعرضة للتجويه الميكانيكية وبالتالى يصبح من السهل تحلله كيميائيا .

تكامل عمليات التجويه Integrated Weathering Processes

جميع عمليات التجويه التى سبق ذكرها تحدث فى وقت واحد وتكمل بعضها البعض . فمـــثلاً التحلل المائى للمعدن الأولى قد يؤدى إلى إنطـــلاق أيون الحديدوز

الذى سريعا مايتأكسد إلى أيون حديديك وهذا بدوره يتأدرت ليعطى أكسيد الحديديك (Geothite) . أيضا يؤدى التحلل المائى إلى إنطلاق الكاتيونات الذائبة ، حمض السيليسك ومركبات الحديد والألومنيوم هذه المواد يمكن أن تتحد لتكون معادن السليكات الثانوية مثل معادن الطين السليكاتية وهذه التفاعلات موضحة بصورة عامة فى الشكل رقم (2-4) حيث يوضح الشكل كيف يمكن نظرياً للمعادن الأولية أن تتغير وتتحول من خلال عمليات التجويه الكيميائية إلى معادن ثانوية .



شكل (2-4) : عمليات التجويه الكيميائية المسئولة عن تحول المعادن السليكاتية إلى معادن طين .

العوامل المؤثرة على تجويه المعادن

Factors Affecting Weathering of Minerals

تتأثر التجويه بثلاث عوامل رئيسية :

أ. الظروف المناخية

ب. الخواص الفيزيائية للصخور والمعادن

ج. الخواص الكيميائية للصخور والمعادن

كل من هذه العوامل سوف نتناولها بالشرح بإختصار .

(أ) الظروف المنـــاخـــية

تعتبر الظروف المناخية هى العامل المحدد لسرعة وطبيعة التجويه التى تحدث للمعادن والصخور . فتحت الظروف المناخية الجافة نجد أن قوى التجويه الفيزيائية والميكانيكية هى التى تسود وتؤدى إلى صغر حجم الحبيبات دون أن يؤدى ذلك إلى تغييرات كيميائية كبيرة فى الصخر أو المعدن . لذلك نجد أن تحت هذه الظروف تسود المعادن الأولية فى حين أن المعادن الثانوية والتى يحتاج تخليقها إلى الماء تكون موجودة بكميات أقل . لذلك نجد أن التغيرات الفيزيائية نتيجة فعل الرياح وتغيرات درجة الحرارة تكون مصاحبة بتغيرات كيميائية طفيفة . والنتيجة النهائية أن تصبح أراضى المناطق الجافة تماثل إلى حد كبير مادة الأصل المتكونة منها . أما فى المناطق الرطبة نجد أن قوى التجويه جميعها تصبح نشطة وخاصة التجويه الكيميائية ويؤدى ذلك إلى تغيرات كيميائية كبيرة فى المعادن الأولية ودليل ذلك وجود معادن الطين وأكاسيد الحديد والألومنيوم . أيضا تحت هذه الظروف تصبح عملية التجويه الكيميائية أكثر سرعة وقوة وذلك نتيجة لتحلل كميات كبيرة من المادة العضوية والتى منشأها النباتات التى تنمو بصورة كثيفة فى هذه المناطق .

فى المناطق الرطبة الإستوائية وحيث إرتفاع درجة الحرارة طول العام وكثافة نمو النبات يؤديان إلى توافر الظروف المثلى للتجويه نجد أن المعادن الأولية تصبح أقل مايمكن ويتبقى فقط المعادن شديدة المقاومة للتجويه الكيميائية لذلك فى هذه المناطق تصبح أكاسيد الحديد والألومنيوم هى السائدة .

(ب) الخواص الفيزيائية Physical characteristics

حجم الحبيبات ، الصلابة ، درجة وطبيعة الإلتحام cementation تعتبر أهم العوامل التى تؤثر على تجويه المعادن . فالصخور التى تحتوى على معادن ذات بلورات كبيرة تتحلل بسهولة أكبر من مثيلاتها التى تحتوى على معادن ذات بلورات صغيرة وذلك راجع إلى الفرق فى التمدد والإنكماش نتيجة تغيرات درجـــــة الحرارة .

وعند تحلل الصخر إلى معادن تصبح المعادن التى تحتوى على بلورات دقيقة أكثر عرضة للتجويه الكيميائية من المعادن ذات البلورات الكبيرة حيث أن زيادة مساحة السطح النوعى للحبيبات الدقيقة يعطى الفرصة للتجويه الكيميائية للعمل بصورة أفضل.

الصلابة ودرجة وطبيعة الإلتحام يؤثران أيضا على التجويه ومثال ذلك الحجر الرملى الملتحم بمادة صعبة التجويه سوف يقاوم قوى التجويه الميكانيكية وبالتالى يصبح أقل عرضة للتجويه الكيميائية بينما الصخور المسامية ، الحجر الجيرى الخشن يكون السطح النوعى لهما كبير وبالتالى يصبحان أكثر عرضة للتجويه الفيزيائية لتكسيرهما إلى حبيبات أصغر مما يسهل عمل التجويه الكيميائية .

(جـ) الخواص الكيميائية Chemical characteristics

الخواص الكيميائية والبلورية للمعادن أيضا تؤثر على سهولة التجويه الكيميائية . فبعض المعادن مثل الجبس ($CaSO_4 . 2H_2O$) أو الكالسيت ($CaCO_3$) يمكن ذوبانهم فى الماء المشبع بثانى أكسيد الكربون وبالتالى يسهل إزالتهم من مادة الأصل . وأيضا المعادن الحديدومغنيسية مثل الأوليفين والبيوتيت olivine & biotite من السهل تجويتهم بينما المعادن الأخرى التى لاتحتوى على حديد تكون أصعب فى التجويه . وعموما فإن ثبات المعادن المكونة للتربة يعتمد على الظروف المناخية والحيوية ولذلك فإن مقاومة المعادن للتجويه تختلف بإختلاف الظروف . ومع ذلك ففى المناطق الرطبة نجد أن ترتيب بعض المعادن من حيث المقاومة للتجويه يكون كالتالى :

Quartz (most resistant) > muscovite and potassium Feldspars > Sodium and Calcium Feldspars > biotite, hornblende and augite > olivine > dolomite and calcite > gypsum

وهذا الترتيب يمكن أن يتغير ويتوقف ذلك على المناخ والظروف البيئية الأخرى. وعموما فإن الترتيب السابق يفسر إختفاء الكالسيت والدولوميت والجبس ووجود الرمل (كوارتز) فى أتربة المناطق الرطبة .

مراجع الفصل الثانى

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Pu blishing Company. New York.

Goldich, S.S. (1938). A Study of Rock Weathering. J. Geology 46: 17-58.

Holmes, A. (1978). Principles of Physical Geology. Nelson, London.

Jackson, M.L.; S.A. Tyler; A.L. Willis; G.A. Bourbeau and R.R. Pennington (1948). Weathering Sequence of Clay-Size Minerals in Soils and Sediments. I- Fundamental Generalizations. J. Physical and Colloid Chemistry 52: 1237-1260.

Manley, E.P. and L.J. Evans (1986). Dissolution of Feldspars by Low-molecular Weight Aliphatic and Aromatic Acids. Soil Science 141: 106-112.

Miller, W.R. and R.L. Donahue (1990). Soils. An Introduction To Soils and Plant Growth. Prentice-Hall International, Inc. N.J.



الفصل الثالث

تكوين الأراضى

Soil Formation

- عوامل تكوين الأراضى
  - المناخ - الأحياء - مادة الأصل - الطبوغرافيا - الزمن
- كيفية تكوين التربة
- قطاع التربة



3

تكوين الأراضي

Soil formation

عوامل تكوين الأراضي Factors affecting soil formation

أظهرت الدراسات التى أجريت على أنواع عديدة من الأراضى فى مناطق مختلفة من العالم أن نوع وتطور الأرض يتوقف إلى حد كبير على خمس عوامل رئيسية :

١- المناخ :

وخاصة درجة الحرارة ومعدل سقوط الأمطار .

٢- الأحياء Living organisms

وخاصة النبت الطبيعى ، ميكروبات وحيوانات التربه

٣- مادة الأصل Nature of parent material

ويقصد بها طبيعة مادة الأصل نفسها .

٤- الطبوغرافيا Topography

ويشمل الشكل الأولى لسطح الأرض والانحدار واتجاهه .

٥- الزمن Time

ويقصد به الزمن التى تعرضت فيه مادة الأصل إلى عوامل تكوين الأراضى .

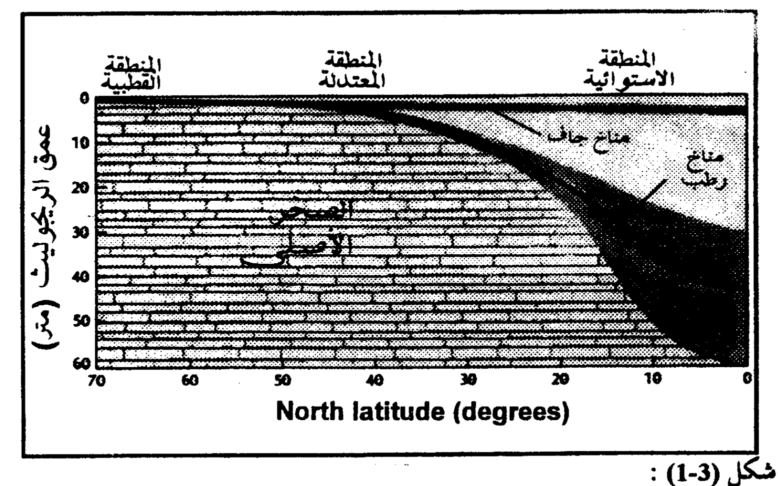
والحقيقة فإن التربه تعرف كدلاله لهذه العوامل بأنها :

" جسم طبيعى ديناميكى له صفات نشأت أساسا من التأثير المتداخل لكل من النشاط المناخى ، الحيوى والأنحدار على مادة الأصل خلال فترة زمنية معينة. "

" Dynamic natural bodies having properties derived from the combined effect of climate and biotic activities , as modified by topography, acting on parent materials over periods of time. "

أولا : المنــاخ
Climate

ويعتبر المناخ من أكثر العوامل تأثيرا على مادة الأصل حيث أن المناخ هو الـذى يحدد طبيعة التجويه التى تحدث . فمثلا نجد أن الحـرارة والأمطـار تؤثـران فـى معـدل العمليات الكيميائيه والفيزيائيه والبيولوجيه المسـئوله عـن تطـور قطـاع التربـه . ومـن المعـروف أن الزيـادة فـى درجـة الحـرارة بمعـدل 10°C تــؤدى إلى مضاعفــة معــدل التفاعلات البيو كيميائيه . وأكثر من ذلك فإن التغيرات البيوكيميائيه التى تحـدث مـن خلال الأحياء الدقيقة بالتربه تكون حساسه للغايه لكل من درجتى الحـرارة والرطوبـه الموجودة فى التربه. كما أن درجة الحرارة والرطوبــه تحـددان كميـة المـواد العضويـه الموجودة فى الأراضى . والتطور البسـيط للقطـاع فـى المنـاطق البـاردة بالمقارنـه مـع التطور القوى للقطاع فى المناطق الأستوائيه يعتبر من أهـم الدلائـل علـى تأثـير المنـاخ على تطور الأراضى (الشكل رقم 3-1)



شكل (3-1) :
رسم تخطيطى يوضح تأثير الحرارة والرطوبه على التجويه كما هو واضح من عمق الريجوليث . تحت المناخ البارد نجد أن عمق الريجوليث يكون صغيرا سواء تحت الظروف الرطبه أو الجافه وعند درجات الحرارة المرتفعة يزداد عمق الريجوليث فى المناطق الرطبه بينما لايتأثر العمق فى المناطق الجافه .

وتأثير الرطوبه على تكوين الاتربه يتوقف على عدة عوامل :

١- شدة الامطار وعدد فترات سقوطها .
٢- التغييرات الموسمية .
٣- معدل البخر سواء من النباتات أو الأتربه ..
٤- ميل الأرض Land slope .
٥- نفاذية مادة الأصل .

ولقد أقترح العديد من الدوال بقياس تأثير الرطوبه ومن أمثلتها دليل P-E لثورنثوايت Thornthwait الذى هو عبارة عن مجموع القيم الشهريه لنسب الامطار إلى البخر :

$$PE = \frac{Precipitation, P}{Evaporation, E} \times 10$$

(يتم الضرب × 10 وذلك للتخلص من الكسور) وعلى ضوء المعادله السابقة تم تقسيم المناخ إلى خمس أقسام وما يصاحبها من نباتات كما يلى :

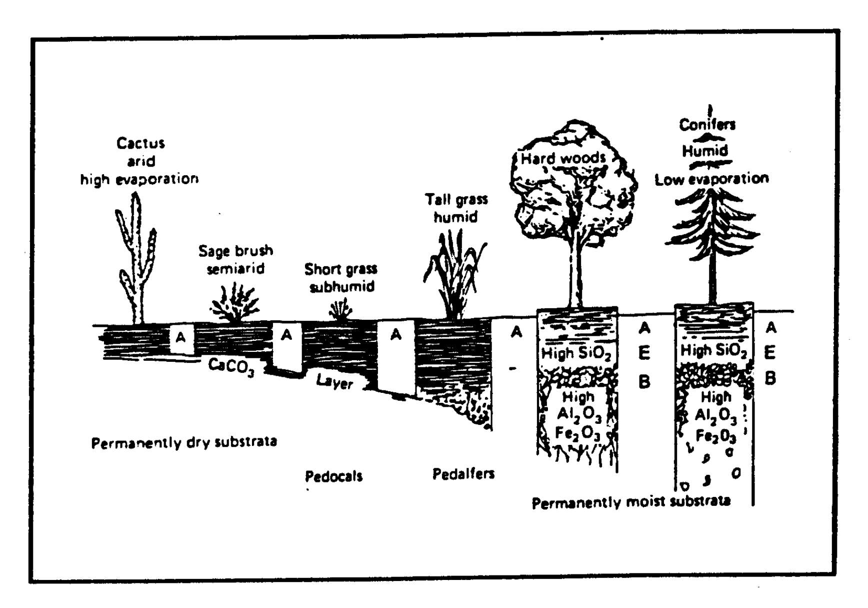
دليل P - E	المناخ	النباتات
128 فأكثر	غدقه Wet	غابات مطريه Rainforest
64 - 127	رطب Humid	غابات Forest
32 - 63	شبه رطبSemi-huimd	حشائش grassland
16 - 31	شبه جاف Semi-arid	استبسSteppe
< 16	جاف Arid	نباتات صحراوية

وعندما يكون تأثير الرطوبه عالى كما فى حالة المناخ الرطب والغدق تكون النتيجة سريان الماء خلال التربه فى أغلب أيام السنة وما يترتب على ذلك من غسيل للمواد الذائبه وإنتقال حبيبات الطين من الأفاق العلويه إلى الأفاق السفلى بما يؤثر بدرجة كبيرة على درجة تطور القطاع .

ومما سبق نجد أن المناخ يؤثر على نوع النباتات الطبيعية Natural Vegetation

فكمية الأمطار العاليه فى المناطق الرطبه توفر الظروف الملائمة لنمو الأشجار فى حين نجد أن الحشائش تسود فى المناطق شبه الجافه وبعض الشجيرات المتفرقه تسود فى المناطق الجافه arid areas (شكل 3-2) .

ومن ذلك يتضح أن المناخ له تأثير قوى أيضا على العامل الثانى وهو الأحياء Living organisms .



شكل (3-2) :
يوضح تأثير درجة الحرارة وكمية الأمطار على نوع النبات النامى .

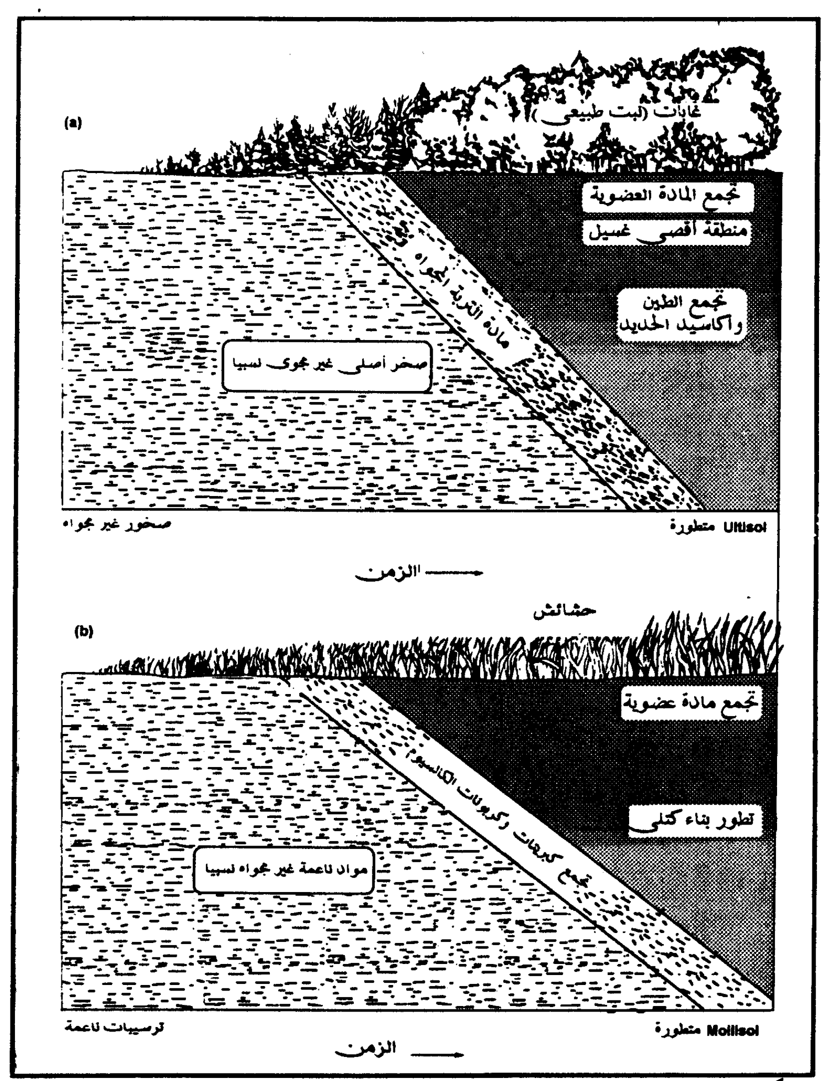
ثانيا : الأحـــــــيـاء
Living Organisms

تلعب الأحياء الدقيقة فى التربه دورا هاما للغايه فى درجة التطور والأختلاف فى قطاع التربه . فنجد أن درجة تجمع المادة العضويه واختلاطها بمكونات القطاع ، درجة ثبات البناء ، بالإضافه إلى دورة العناصر الغذائية جميعها تزيد بدرجة كبيرة نتيجة لنشاط الكائنات الحيه الدقيقة فى التربه . كما أن وجود الغطاء النباتى يعمل على خفض معدل التعريه فى الأفاق السطحية للأراضى .

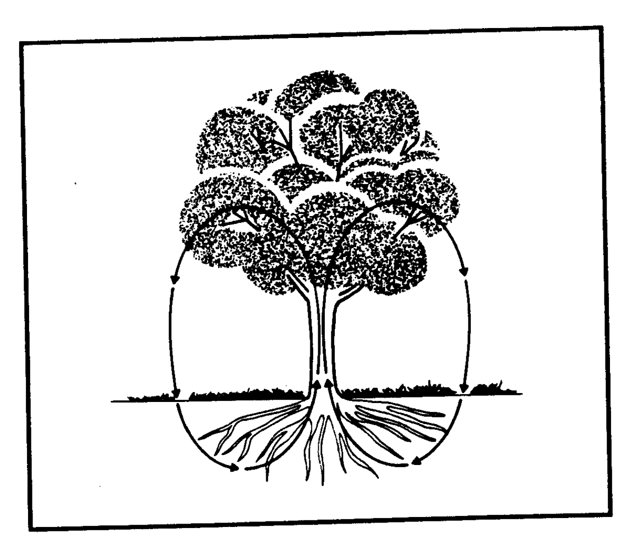
ولتوضيح تأثير النبت الطبيعى على تكوين الأراضى فيجب مقارنة خواص التربه المتكونه فى وجود الحشائش مع خواص التربه المتكونه فى وجود الغابات . فنجد أن المادة العضويه فى أراضى الحشائش أعلى منها فى أراضى الغابات وخاصة فى الأفاق تحت السطحيه . وزيادة المادة العضويه يؤدى إلى تدكين لون أراضى الحشائش بالإضافه إلى زيادة السعه التبادليه الكاتيونيه وزيادة مقدرة الأرض على الأحتفاظ بالماء . وعلى ذلك نجد أن أراضى الحشائش تتميز بارتفاع السعه التبادليه الكاتيونيه وقوة حفظ الماء بالمقارنه بأراضى الغابات . أيضا ثبات البناء فى أراضى الحشائش يكون أكثر وضوحا منه فى أراضى الغابات (شكل رقم 3-3) .

والمحتوى المعدنى للأوراق والسيقان الخاصة بالنبت الطبيعى يؤثر بدرجة كبيرة على خواص التربه المتكونه ودرجة حموضتها فمثلا : أشجار الصنوبر تحتوى على كميات قليله من الكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم بينما أشجار البلوط تحتوى على كميات أكبر من هذه العناصر . وبالتالى فإن الأراضى الحامضيه قد تتكون فى أراضى الصنوبر التى تحتوى على كميات قليلة من القواعد (شكل رقم 3-4) .

ويحدث أيضا تفاعل بين النبت الطبيعى وأحياء التربه ويؤثر ذلك على خواص التربه المتكونه ففى أراضى الحشائش تتواجد بكتريا أزوتوباكتر **Azotobacter** بدرجة كبيرة وهذا يؤدى إلى زيادة نسبة النتروجين المثبت من الهواء الجوى فى التربه . هذا بالإضافه إلى أن كمية الجذور الكبيرة فى أراضى الحشائش تؤدى إلى زيادة المادة العضويه وبالتالى تحسن من بناء هذه الأراضى .



شكل (3-3) : يوضح تطور قطاعين تربه يتواجدان فى مناخ مناسب لنمو الغابات والحشائش ويلاحظ تجمع المادة العضويه فى الطبقات السطحية كما أن كمية المادة العضويه المتجمعة تتوقف على نوع النباتات النامية.



شكل (3-4) :

دورة العناصر الغذائية تعتبر عامل هام جدا فى تقدير العلاقة بين تطور الأتربـه والنباتات الناميه فيها فتسود التجويه الحمضيه اذا ما كانت بقايا النباتات فقيرة فى القواعد . أما اذا كانت بقايا النباتات عاليه فى القواعد فإن هذه القواعد تعمل على معادله الأحماض وتصبح التجويه المتعادله هى السائدة .

ويؤثر النشاط الأنسانى بدرجة كبيرة فى تكويـن التربـه . فمثـلا إزالـة الغابـات وحرث الأرض يغير من عوامل تكوين الأراضى . كما أن رى الأراضـى فـى المنـاطق الجافه وإضافات الأسمدة تؤثر بدرجة كبيرة فى عمليـات تكويـن الأراضـى فـى هـذه المناطق.

ثالثا : مـــــــادة الأصـــل

Parent Material

تعتبر مادة الأصل من عوامل تكوين التربـه الهامـه ، وقـد عرفهـا Jenny بأنهـا حالة النظام الأرضى State of soil system عند بداية تكوين التربه (زمـن صفـر) أى أنها تعتبر الهيكل الأساسى للتربه بما له من خواص طبيعية وكيميائيه ومعدنيه قبل بداية تفاعلها مع البيئه . ويحدث نتيجة للعمليات البيولوجية ظهور وتكشف أنـواع عديـده من مادة الأصل على سطح الأرض (شكل رقم 3-5) .

التقسيم الجيولوجى لمواد الأصل

Geological Classification of soil Parent Materials

يمكن التعرف على نوعين من مادة الأصل غير العضويه :

أ- مادة الأصل المتكونه فى مكانها Sedentary .

ب- مادة الأصل المنقولة Transported . وهذه تقسم إلى أقسام تبعـا لطريقـة النقـل والترسيب .

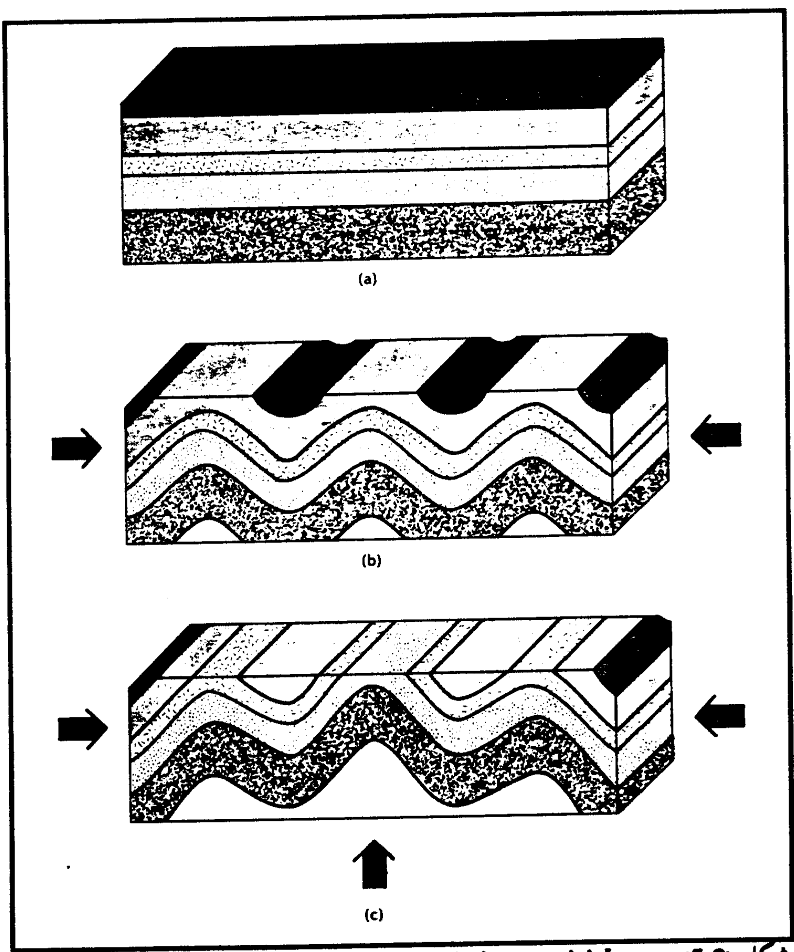
وفيما يلى أقسام مواد الأصل (شكل رقم 3-6) .

١ - مادة أصل متكونه فى مكانها Sedentary ومثال ذلك Residual .

٢ - مادة أصل منقولة Trans ported

(أ) بواسطة الجاذبيه	Colluvial
(ii) بواسطة الماء (water)	Alluvial
	Marine
	Lacustrine
(iii) بواسطة الثلج (ice)	Glacial
(iv) بواسطة الرياح (wind)	Eolian

وهذه التسميات تشير بدقة إلى أماكن مواد الأصل ولكنهـا أحيانـا تطلـق علـى الأتربه التى تكونت على هـذه الترسيبات فمثـلا أراضـى الثلاجـات glacial soils ، والأراضى الرسوبيه Alluvial soils هى مجرد تسميات عامه جدا وذلك لاحتواء كـل مجموعة من هذه المجاميع على العديد من أنواع الأراضى .

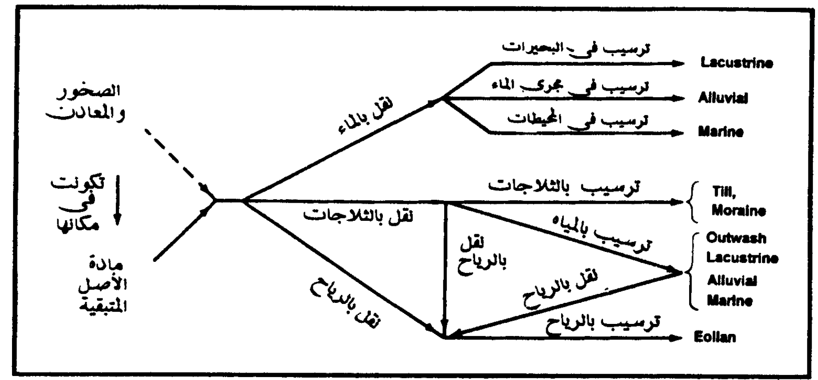


شكل (3-5) : رسم تخطيطى يوضح العمليات الجيولوجيه وتأثيرها على تكشف طبقات الصخر المختلفة وإظهارها على السطح .

(أ) طبقات من الصخور الرسوبيه لم يحدث لها أى تغيير .

(ب) تعرض طبقات الصخور لضغطى جيولوجى جانبى وفى نفس الوقت تعمل التجويه على إزالة معظم الطبقة السطحية وينتج عن ذلك تكشف وظهور الطبقة الثانية على السطح.

(جـ) نتيجة للضغط من أسفل إلى أعلى بالإضافه إلى الضغط الجانبى يحدث تكشف وظهور طبقتين من الطبقات السفلى الصخرية على السطح تجويه هذه الطبقات الأربع توضح تكون الأتربه المختلفة من مادة الأصل .



شكل (3-6) :
يوضح كيفية تكوين ونقل وترسيب الأنواع المختلفة من مادة الأصل .

أمثلة لبعض مواد الأصل

أ ـ مادة الأصل المتبقية Residual Parent Material

تتطور وتتكون مادة الأصل المتبقيه فى مكانها من الصخور الموجودة أسفلها وذلك نتيجة لعوامل التجويه المكثفه . ففى المناطق الحاره الرطبه تسود عمليات الأكسدة والغسيل ولذلك نجد أن مادة الأصل المتبقيه تكون فقيرة المحتوى من الكالسيوم والمغنسيوم نتيجة فقدها هذه المحتويات بالغسيل الشديد .

وتتكون أنواع عديدة من الأراضى من مادة الأصل المتبقيه نتيجة لإختلاف طبيعة الصخور التى تتكون منها مادة الأصل . كما أن تنوع الأراضى المتكونه يكون أنعكاسا للأختلافات المناخية والنبت الطبيعى .

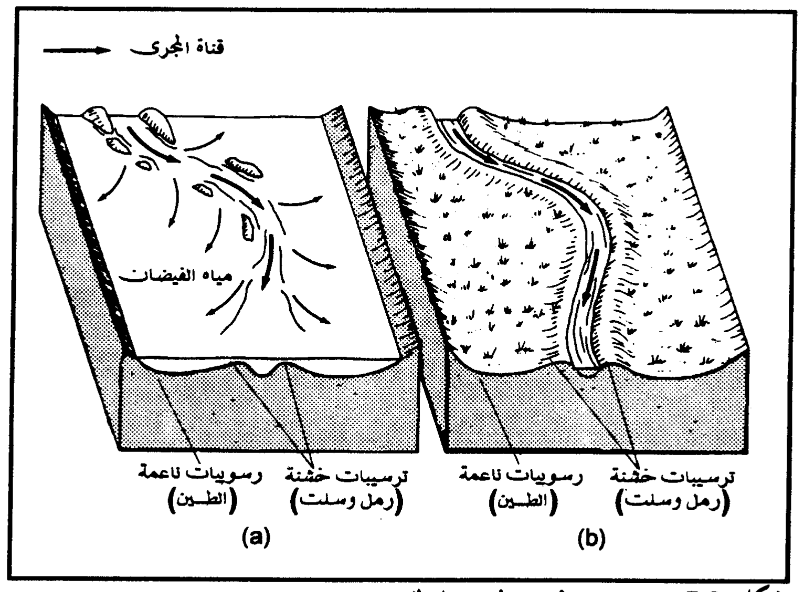
ب ـ الترسيبات النهريه Alluvial Stream Deposits

وتنقسم إلى ثلاثة أقسام عامه : سهول الفيض Flood plains ، المراوح الترسيبيه Alluvial fans ، الدلتا Deltas وفيما يلى نبذة موجزه عن كل منهم :

سهل الفيض Flood plain

وهو عبارة عن جزء من أرض الوادى المتاخم لمجرى النهر ويتكون نتيجة الترسيب النهرى عندما يفيض المجرى على الضفتين . فجزء الوادى الذى يغطى بمياه

الفيضان هو الذى يطلق عليه سهل الفيض Flood plain وتترسب المواد العالقه بالمياه خلال الفيضان فنجد أن الترسيب يكون كبيرا على الضفتين ويقل للخارج وتتغير طبيعة الرواسب كلما بعدنا عن المجرى حيث ترسب المواد الخشنة أولا يليها المواد الناعمه (شكل رقم 3-7) . والأراضى المتكونه من هذه الرواسب تكون عامه غنيه بالعناصر الغذائية وأمثلتها سهول الفيض على طول مجرى نهر النيل فى مصر والسودان ، كذلك نهر الفرات ، نهر المسيسيبى بالولايات المتحده الأمريكية .



شكل (3-7) : يوضح خطوات تطور سهل الفيض .
(a) فيضان المجرى على الضفتين وترسيب المواد العالقة بالماء فى سهل الفيض .
(b) بعد الفيضان وإنتهاء عملية الترسيب يبدأ زراعة سهل الفيض ويلاحظ نمو النبات.

المراوح الترسيبيه Alluvial fans

ينتج عن عملية الجريان السطحى للماء المحمل بفتات الصخور ومواد التربه المعراه أسفل الانحدارات تكوين مجارى تصريف سطحى للماء عباره عن قنوات متشعبة إشعاعية . وهذه القنوات تتسع أسفل الانحدار ويقل عمقها تدريجيا حتى

تختفى معالمها بالسهول المنخفضه . وهذه القنوات الأشعاعيه تأخذ شكل المروحه لذا تسمى بالمراوح الترسيبيه حيث يحدث أثناء إنتقال المواد المعراه من أعلى المنحدر سواء بالجاذبيه أو بالجرف مع المياه عملية ترسيب لهذه المواد وتدريجها على قاع وجوانب القنوات فكسر الاحجار والمكونات الخشنه تترسب أولا على المنحدرات ثم تتدرج فى النعومه إلى أسفل . ويتراوح إتساع المراوح بين عدة مئات من الأمتار إلى عشرات الكيلو مترات .

أرض المصب المثلثه (دلتا) Delta

هى عبارة عن ترسيبات نهريه تتكون عند فم الانهار المحمله بكميات كبيره من الغرين نتيجة فقد المياه لسرعتها بسبب إختراقها لكتله مائيه هادئه كالبحار المغلقه مثل البحر المتوسط والبحر الأسود . وتساعد ملوحه ماء البحر على تجميع الحبيبات الدقيقة وترسيبها وأطلق هذا الاسم بداية على دلتا نهر النيل بمصر نظرا لتشابه شكلها المثلثى مع الحرف اليونانى (Δ) Delta . ويستمر تراكم ترسيبات الدلتا وامتدادها فى داخل البحر وغالبا ما تأخذ مقدمتها شكلا مقوسا حيث تنتشر بها بعض البحيرات الصغيرة الضحلة والمستنقعات وتتكون أرض الدلتا النموذجية (شكل 3-8) من :

١ـ سهل الدلتا :

وهو سطح علوى متسع على شكل مثلث بانحدار بسيط تجاه البحر حيث تتواجد قاعدته.

٢ـ مقدمة الدلتا :

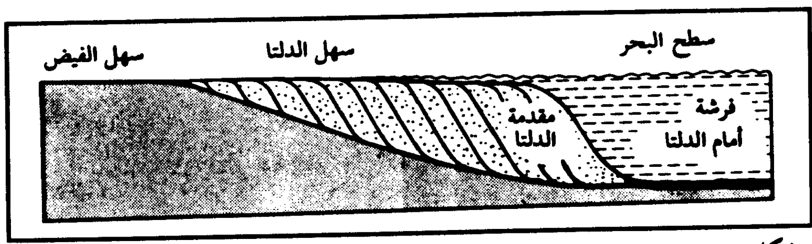
وهى منحدر أمامى شديد الانحدار مغمور تحت كتلة الماء الهادىء .

٣ـ فرشة أمام الدلتا :

وهى عبارة عن طبقة من رواسب الغرين والطين تمتد بتموج خفيف داخل كتلة الماء الهادىء من قاعدة المنحدر الأمامى .

وتركيب رواسب الدلتا ذات طبيعة معقدة فنجد طبقات من الطين الغنى بالمادة العضوية خاصة فى أماكن المستنقعات ، وهذه تتداخل مع ترسيبات جيريه بحريه

بحيريه فى مقدمة الدلتا ، كما توجد عمليات إختزال واضحة بسبب ارتفاع مستوى الماء الأرضى بمقدمة الدلتا . ويلاحظ وجود تدرج جانبى على ضفاف الفروع وتدرج أمامى حتى البحر وهذا التدرج يتبع قانون ستوكس حيث ترسب الحبيبات الخشنه أولا يليها الأنعم وهكذا .



شكل (3-8) :

مقطع نموذجى بطول الدلتا من الداخل إلى البحر .

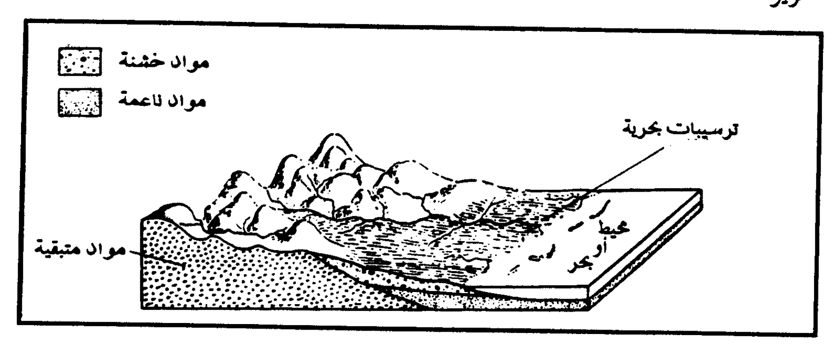
(جـ) الترسيبات البحرية Marinc deposits

وهى التى تترسب فى المحيطات والبحار والخلجان . وتختلف الرواسب البحريه فى القوام فنجد أن الحبيبات الخشنه ترسب بالقرب من الشاطىء بينما الحبيبات الناعمه ترسب على مسافة بعيدة من الشاطىء (شكل 3-9) وبمرور فترة زمنية طويلة ومع استمرار الترسيب تصبح هذه الترسيبات ذات عمق كبير . وفى بعض المناطق ونتيجة للعمليات الجيولوجية تظهر هذه الترسيبات فى مستوى أعلى من سطح البحر وتتعرض لعوامل التحويه وعوامل تكوين الأرض وتتطور إلى أراضى زراعية منتجة .

(د) الترسيبات البحيريه Lacustrine deposits

وهى التى تترسب فى البحيرات وعند انحسار الماء عنها تتعرض لعوامل التحويه وتكوين الأراضى . وتتميز الأراضى المتكونه من الترسيبات البحريه باحتوائها على القواقع وكسر المحار كما يتميز القطاع الأرضى بظاهرة Stratificateion أى تعدد الطبقات حيث تمثل كل طبقة مرحله معينة من مراحل الترسيب ويلاحظ أختلافات كبيرة وواضحة بين الطبقات . ومن أمثلة الأراضى المتكونه من الترسيبات البحريه

بعض الأراضى الموجودة فى الساحل الشمالى بجمهورية مصر العربية حول بحيرة مريوط .



شكل (3-9) : يوضح الترسيبات البحريه ويلاحظ ترسيب الحبيبات الخشنه بالقرب من الشاطىء بينما الحبيبات الناعمه (الطين والسلت) تترسب على مسافة بعيدة من الشاطىء .

(هـ) الرواسب الجليدية Glacial deposits

وهى الرواسب التى تنقل وتترسب بواسطة الثلاجات وتعكس الرواسب الجليديه خصائص الصخور التى مرت عليها الثلاجات وبالتالى فهى لا تتميز بخصائص محدودة من الناحية الكيميائيه أو المعدنيه وبوجه عام فإن الأراضى الناتجه من الرواسب الجليديه تتميز باحتوائها على حبيبات مختلفة الأحجام .

مادة الأصل وتكوين الأراضى
Parent Material and Soil formation

تؤثر مادة الأصل على خواص التربه المتكونه بدرجات مختلفة ويكون تأثيرها أكبر ما يمكن فى الأراضى الجافه وأثناء المراحل الأولى من تطور التربه حيث تسود عمليات التجويه الطبيعية لمادة الأصل وتقوم بتفتيتها وتراكمها مع إحتفاظها باغلب خواص الصخر الأصلى وبالتالى يمكن تمييزها . أما فى المناطق الرطبه فإن نشاط التجويه الكيميائيه قد يحجب تأثير مادة الأصل عن طريق عمليات التحول والغسيل والإزالة .

(١) تأثير مادة الأصل على خواص التربه

نوع الصخر الأصلى الذى تتكون منه التربه يضفى على التربه المتكونه خواص معينه وتعتبر رواسب الحجر الجيرى والأحجار الرمليه والطفليه مواد أصل هامه وخاصة فى أراضى المناطق الجافه وشبه الجافه بينما تعتبر رواسب الثلاجات Glaciers ورواسب السافى Loess مواد أصل هامه فى المناطق المعتدله والباردة . وفيما يلى بعض أنواع مواد الأصل وأهم خصائص الأرض المتكونه منها :

الحجر الجيرى والدولوميت Limestone and Dolomite

تعتبر الأراضى المتكونه من مادة أصل جيريه انعكاس لنوع الشوائب التى كانت سائدة بها قبل تجويتها وإذابة الكربونات فإذا كانت هذه الشوائب طينيه فإن التربه المتكونه تكون ثقيلة القوام قليلة النفاذيه ولا تحدث بها عمليات غسيل كافيه وبالتالى تتركز القواعد ويرتفع رقم pH الخاص بها . وإذا كانت الشوائب السائدة بمادة الأصل الجيريه هى عبارة عن مارل Marl وشرت Chert (الأخير هو حبيبات بلوريه أو أمورفيه من السليكا) فإن التربه المتكونه تكون ذات قوام طميى خشن حصوى Gravelly وفقيرة فى القواعد وذات درجة pH منخفضه . أما إذا كانت الشوائب السائدة بمادة الأصل الجيريه عبارة عن مواد حديديه فإن التربه المتكونه تكون حمراء ومائله للحموضه .

الحجر الرملى Sandstone

ويحتوى على أكثر من 50% حبيبات فى أحجام الرمل وملتحمه بمواد مختلفة من السليكا والحديد أو الكربونات . ومواد الالتحام فى الحجر الرملى تؤثر بدرجة على نوع التربه المتكونه من الحجر الرملى . فإذا كانت السليكا هى المادة اللاحمه بالحجر الأصلى يكون القطاع غير عميق لصعوبة تحلل السليكا وعموما فإن الأراضى المتكونه من الحجر الرملى تكون ذات قوام خشنه خاصة فى الطبقات السطحية وذات محتوى منخفض من القواعد والمخزون الغذائى .

الصخور النارية Igneous Rocks

ينتج عن التجويه الطبيعية للصخور الناريه رمالا وحصى وبالتالى فإن التربه المتكونه منها تكون خشنة القوام . أما التجويه الكيميائيه للصخور الناريه فينتج عنها

مواد مختلفة تتوقف على نوع الصخر وهذه المواد تدخل فى تفاعلات مختلفة لتكوين معادن الطين والأتربه الناتجه منها خاصة الصخور البازلتيه تكون ناعمة القوام .

(٢) تأثير مادة الأصل على تكوين معادن الطين

تؤثر مادة الأصل على نوع وكمية معادن الطين الموجودة فى القطاع الأرضى فقد لوحظ أن المعادن والصخور ذات التراكيب المختلفة تنتج معادن طين مختلفة تحت ظروف التجويه الواحدة . فمثلا يتكون معدن طين الكاؤولينيت من مواد أصل جرانيتيه ونيس وهى ذات محتوى منخفض من القواعد بينما يتكون معدن طين المونتموريللونيت من الجابرو ذو المحتوى العالى من القواعد كما لوحظ ايضا تحول البلاجيوكلاز إلى هالويسيت بينما تحول الأوليفين إلى معدن المونتموريللونيت تحت ظروف التكوين نفسها وما سبق يوضح التأثير الكبير لمادة الأصل على نوع معادن الطين المتكونه وما يتبع ذلك من تأثير هام على نوع الأراضى المتكونه .

(٣) تأثير مادة الأصل على تطور الأراضى

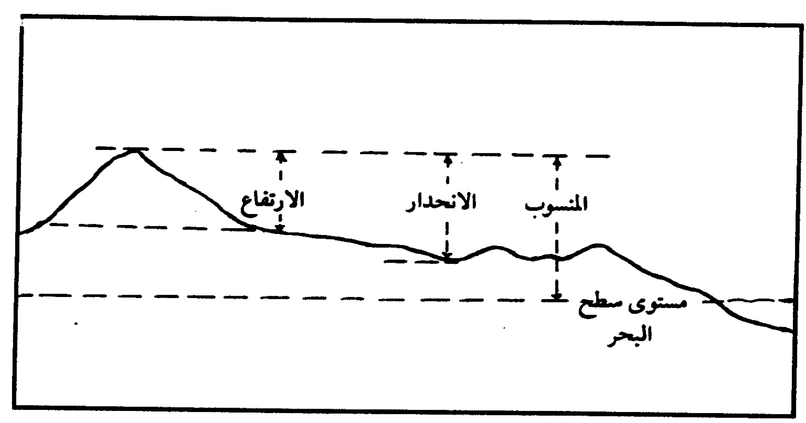
يؤثر التركيب الكيمائى والمعدنى لمادة الأصل على نواتج التجويه مباشرة وأيضا على النبت الطبيعى . فمثلا وجود الحجر الجيرى فى مادة الأصل يمكن أن يؤدى إلى خفض فى تطور الحموضه كما أن أوراق الاشجار الناميه فى الأراضى الجيريه تكون ذات محتوى عالى من الكالسيوم والفلزات القلويه . وتحلل هذه الأوراق يمكن أن يؤدى إلى تأخير تطور الحموضة فى هذه الأراضى وبالتالى تأخير تطور القطاع الأرضى .

رابعا : الطبوغـــرافيا

Topography

الطبوغرافيا تعنى شكل سطح الأرض وتصف الاختلافات فى الارتفـاع ، الميـل (الانحدار) وهكذا . والطبوغرافيا تعبير قديم قل استعماله وأستبدل بتعبيرات أخرى كـالانحدار Rilief والطبيعـه الجغرافيـه Physiography وشـكل الأرض Landform وميل الأرضSlope ويقتصر إصطلاح الطبوغرافيـا الأن علـى وصـف مظـاهر سـطح الأرض بالخرائط الكونتوريه (Soil Survey Staff 1981) .

ويقصد بالانحدار فرق المنسوب بين أعلى وأوطى نقطة بمنطقة معينه ويصف شكل الأرض الخارجى بأبعاده الثـلاث three dimensional وهـى الطـول والعـرض والارتفاع أو العمق (شكل 3-10) .



شكل (3-10) : مقطع عرضى يوضح المنسوب والانحدار والارتفاع

ويوجد نوعان من الانحدار :

١ـ الانحدار العام General relief

ويصف الاختلافات فى منسوب سطح الأرض التى تزيد عن متر .

٢- الانحدار الدقيق Microreleif

ويصف الاختلافات الدقيقه داخل الانحـدار العام والتى تقل عن متر كالحفر وغيرها .

ففى داخل كل مجموعه وحده من وحـدات الانحـدار العام فإن الشكل العام لسطح التربه يعتبر ذا منسوب واحد متماثل ولكن بالتدقيق فى دائرة على مدى عدة أمتار يتضح ظهور إختلافـات فى المناسيب فى حدود 30-80 cm والتى تعرف بالانحدار الدقيق .

وينشأ الانحدار نتيجه قوى داخليه مثل الهزات الأرضيه والزلازل والبراكين والموجات الحراريه من باطن الأرض والتى يترتب عليها حدوث حركات رافعه وخافضه لسطح القشره الأرضيه وينتج عنها أشكال سطحيه مختلفة بعد ذلك تبدأ القوى الخارجيه مثل العوامل الجويه كالامطار والجفاف والميـاه الجاريه والماء الأرضى وتغيرات درجـات الحرارة فى إعادة تشكيل هذه المظاهر السطحيه (Fitzpatrick, 1980) . وبمجرد بروز الارتفاعات فوق مستوى سطح الأرض بتأثيرالقوى الداخليه فإن عوامل التعويه تبدأ عملها من تفتيت وتسويه ونقل وترسيب والتى تكون محصلتها تكوين الأشكال الفيزيوجرافيه لسطح الأرض مثل الجبال والهضاب والوديان والأحواض والكثبان الرمليه وغيرها . ونستخلص من ذلك أن الانحدار أو الطبوغرافيا نظام ديناميكى تختلف سرعة تغيره حسب ظروف تكوين المنطقه والعوامل المؤثره عليه .

أثر الانحدار على تكوين التربه :

تؤثر طبيعة الانحدار على تكوين التربه بعديد من الطرق ، فعمق قطاع الوحدات الأرضية يتحدد حسب طبيعة الانحدار ، فالمناطق المستويه أو البسيطة الانحدار تساعد على تراكم مواد التربه وعمق قطاعها واحتوائها على كثير من المعادن الثانوية والمعادن المقاومة . وبزيادة الانحدار فإن التعرية تزداد ويقل التراكم ، وبالتالى يكون قطاع التربة حجريا ويحتوى على كثير من المعادن الأولية (شكل 3-11) ، إلا أن وجود غطاء نباتى قد يقلل من هذا التأثير ويساعد على التراكم وعمق قطاع التربه .

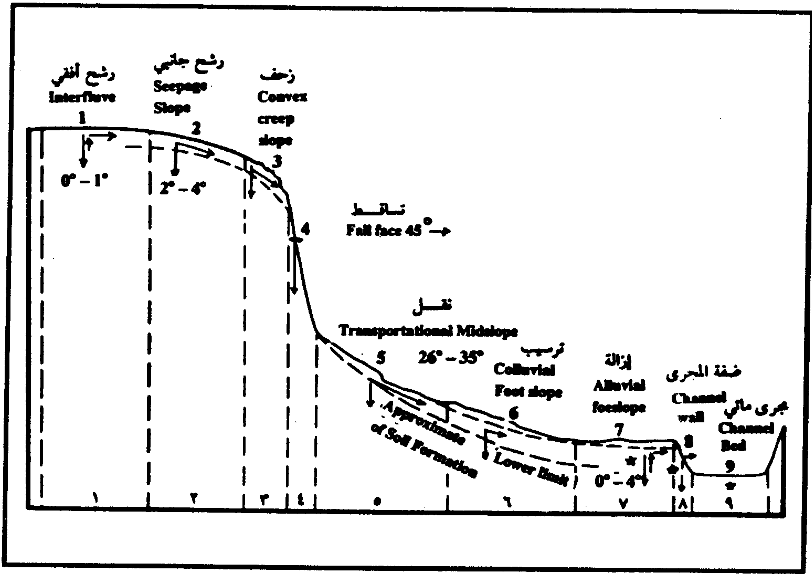
تقسيم الانحدار من وجهة نظر تكوين التربه :

١- الانحدار الشديد Excessive Relief . كالتلال والأراضى التلية المرتفعة ذات الجريان السطحى السريع إلى سريع جدا ، وعمليات تكوين الأراضى تتوقف بسبب التعرية الشديدة التى يتعرض لها هذا النوع ، مع قلة المياه اللازمة لنمو غطاء نباتى بالتربه (Birot,1968) وأراضى هذا القسم من النوع الحجرى Lithosols or lithosolic association of other soils (شكل المرحلة ٣، ٤ ، ٥) .

٢- الانحدار العادى Normal Relief . وهو عبارة عن أراض عالية مائلة مع كمية متوسطة من الجريان وذات الغطاء النباتى الطبيعى والمتعرضة لدرجة عادية من التعرية وبعض الإزالة من طبقة الاستزراع وبذلك تظهر أنواع جديدة من تحت التربه (شكل المرحلة ٢) وهذا النوع هو الخاص بالأراضى العادية ويمثلها الأراضى النطاقية Zonal soils .

٣- الانحدار البسيط Subnormal Relief . وهو عبارة عن أراض عالية شبه مستوية إلى مائلة مع جريان سطحى قليل جدا إلى قليل (شكل المرحلة١) ، والتعرية تكون بطيئة جدا فى وجود الغطاء النباتى الطبيعى لدرجة أنه فى المناطق الرطبة فإن المواد المغسولة تتجمع على سطح التربة . ويلاحظ أن قلة التعرية هنا تؤدى إلى المحافظة على ثبات طبقة الاستزراع . وهذا النوع عرضة لتكوين طبقات متصلبة Hardpan or claypan وعادة ما يرتبط بمستوى ماء أرض متذبذب أو غير متصل Perched water-table . وأراضى هذا النوع تتبع Planosols وأراضى اللاتيريت Laterite ذات مستوى الماء الأرضى .

٤- الانحدار المقعر أو الأراضى المستوية Flat or Concave Relief . وهى الأراضى المستوية تقريبا أو الأراضى المنخفضة مع جريان سطحى بطىء جدا أو معدوم ، مع عدم وجود تعرية طبيعية للتربه (شكل المرحلة ٦ ، ٧) . وهذه الأراضى تحتفظ بكل ماء المطر الساقط عليها وقد يضاف إليها كمية أخرى من المياه عن طريق المرتفعات المحيطة . فهى تحتوى على كمية زائدة من الماء لفترات زمنية . وتنمو بها النباتات المحببة للماء Hydrophylic أو بين النطاقية المحبة للملوحة Halomorphic intrazonal .



شكل (3-11) :

منسوب الموقع والعمليات الجيومورفولوجية السائدة (Dalrympte *et al.*, 1986) .

١- عمليات أرضية مصحوبة بحركة أفقية للماء الأرضي .

٢- عمليات إزالة ميكانيكية كيميائية من الطبقة السطحية مصحوبة بحركة جانبية للماء الأرضي .

٣- عمليات زحف أرضية شرفات عالية .

٤- سقوط وتزحلق الأحجار .

٥- عمليات نقل بالانجراف والزحف والتزحلق . تأثير سطحي وتحت سطحي للماء تكوين شرفات منخفضة .

٦- إعادة ترسيب بالانجراف والزحف والتزحلق . عمليات غسيل سطحي وتكوين المراوح ونقل وحركة ماء أرضي .

٧- عمليات إزالة بتأثير الماء الأرضي .

٨- تآكل ، انجراف ، تساقط .

٩- نقل المواد أسفل الوادى بحركة المياه الجارية مع عمليات تجمع أو نحر متكررة .

السلسلة الأرضية Soil Catina

يؤثر الانحدار علـى توزيـع أنـواع الأراضـى فـى الاتجـاه الجـانبى بمسـطح التربـه Land-scape ، فالاختلافات في الانحدار تؤدى إلى وجود أراض مختلفة رغم تكوينها

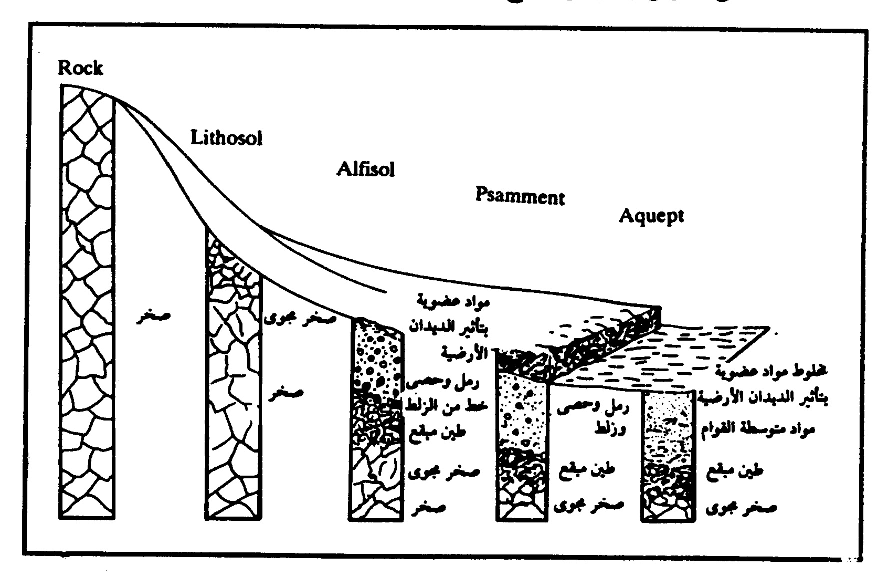
تحت الظروف العامة نفسها . وكثير من الاختلافات بالأراضى ذات الطوبوغرافية المختلفة ترجع إلى التأثير المشترك لكل من المناخ الدقيق Microrelief ، عمليات تكوين التربه والعمليات الجيولوجية . فوجود اختلاف فى مستوي سطح الأرض يتراوح بين عدة أمتار وعشرات الأمتار ينشأ عنه اختلاف ثابت فى المناخ المحلى مما يؤدى إلى اختلاف الغطاء النباتى وشدة عمليات تكوين التربة .

فعند دراسة أراضى منطقة معينة فإننا نجد اختلافات واضحة فى تكوين قطاع التربة مرتبطة بالتدرج فى كل من الميل والانحدار . فبالرغم من تكوينها من مادة أصل واحدة واشتراكها فى مناخ عام واحد إلا أن الظروف المحلية تؤثر على محصلة عمليات تكوين التربه وتؤدى إلى سيادة عمليات معينة بكل نوع (Bushnell,1943) . فالأراضى المرتفعة عادة ما تكون ذات صرف حر جيد مما يؤدى إلى سيادة عمليات غسيل ونقل مكونات التربه وتمتعها بجفاف نسبى محلى . فى حين أن الأراضى المنخفضة والتى كثيرا ما تكون رديئة الصرف تعتبر مناطق تجمع طبيعية للماء والمواد الذائبه المنقولة من المرتفعات (شكل 3-11) . وبالطريقة نفسها فإننا نلاحظ وجود تتابع فى تكوين قطاع التربه بتدرج الميل ، فالأراضى فى مقدمة الميل تكون عرضة لعمليات التعرية والنحر والجريان السطحى للماء ، فى حين أن الأراضى فى مؤخرة الميل تعتبر مناطق ترسيب وتراكم (شكل 3-12) فمن المألوف أن نجد تتابعا من الأراضى Soil sequence والتى يزداد عمق قطاعها ، وقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة ، ونسبة المعادن الثانوية، والمعادن المقاومة للتحوية ، بقلة الانحدار أو الميل . وقلة الرطوبة بالمرتفعات وزيادتها تدريجيا تجاه المنخفضات تسمى بالتتابع الهيدرولوجى Hydrological sequence .

هذا ويلاحظ أيضا أن اتجاه الانحدار أو الميل له تأثير ملحوظ على كل من المناخ الدقيق والغطاء النباتى وبالتالى على خواص التربه . فالأجزاء المعرضة للشمس تكون درجة حرارتها أعلى من غيرها ، ومحتواها الرطوبى منخفض ، بينما تكون الأجزاء غير المعرضة للشمس درجة حرارتها منخفضة ، ومحتواها الرطوبى أعلى من الأجزاء المعرضة للشمس .

مما سبق يلاحظ أن هناك تتابعا فى تكوين خواص قطاع التربه بمنطقة جغرافية

واحدة وهذا التتابع باختلاف الميل والانحدار بالرغم من تكوين أراضى المنطقة من مادة أصل واحدة واشتراكها فى مناخ عام واحد يسمى هذا التتابع بالسلسلة الأرضية Soil catina فالانحدار يعتبر العامل الرئيسى لشرح الاختلافات فى خواص التربة بمنطقة معينة (Jenny, 1941; Gile,1966) لذا فإننا يجب أن نعطى اهتماما خاصا بالميل والانحدار خصوصا عند إجراء الدراسات التفصيلية للتربه لما يعكسه من اختلافات فى تكوين وخواص قطاع التربه وبالتالى تحديد طريقة استغلالها .



شكل (3-12) :
تأثير الإنحدار على عمق وخواص القطاع الأرضى (Dalrymble *et al.*, 1968)

خامسا : الزمـــن

Time

تأثير عامل الزمن مهم للغايه فى تكوين الأراضى . وهذا يمكن إظهاره بوضـوح وذلك بمقارنة الأراضى المتكونه فى المنـاطق الثلجيـه (القطبيـه) والمنـاطق غـير الثلجيـه القريبه منها ويلاحظ وجود فرق كبير جدا حيث أن الثلـوج منعـت تطـور الأراضـى تحتها تطورا كاملا .

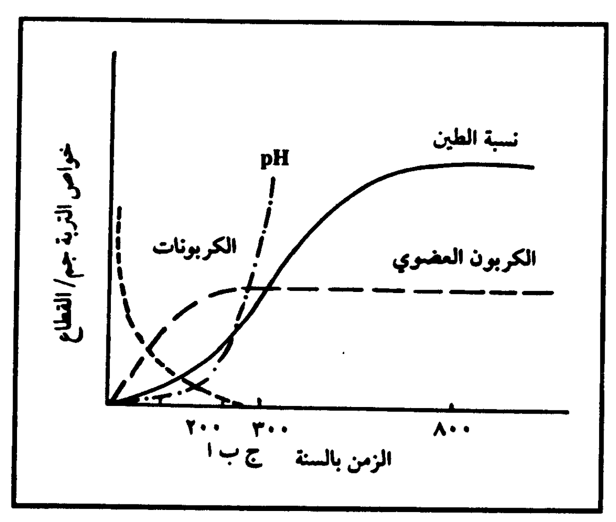
أيضا لابد من أن نضع فى الاعتبار التفاعل بين الزمن وعوامل تكويـن الأراضـى الأخرى وتأثير ذلك على طبيعة الأرض المتكونه . فالزمن المطلوب لتطوير قطاع التربه سوف يتأثر بالتاكيد بمادة الأصل ، المناخ ، النبت الطبيعـى . وهـذه العوامـل جميعهـا تحدد إلى حد كبير نوع الأرض المتكونه .

وعملية تجويه الصخور والمعادن وتطـور مظـاهر التربـه الواضحـه تعتـبر عوامـل مرتبطه بالزمن الا أن هذا الارتباط يعتبر مســأله نسبيه فـالزمن الـلازم لوضـوح هـذه المظاهر يختلف حسب طبيعـة هـذه الصفـات وملاءمـة الظـروف البيئيـه . فكثـير مـن خواص التربه تحتاج لزمن طويل لتكوينها وتطورها مثـل تجويـه المعـادن الأوليـه فإنهـا تكون بطيئه وتختلف سرعتها من معدن لأخر أمـا الصفـات المرتبطـه بالمـاده العضويـه فإنها تتطور بسرعه وتصل لحالة ثبات واتزان مع الوسط فى زمن أسرع من أية صفـة أخرى فقد يستغرق ذلك حوالى 200 سنه . وعادة ما يصل أفق تجمع الماده العضويـه A لحالة الثبات بسرعه بعكس الحال بالنسـبه للأفـق المعدنـى B الـذى يحتـاج تكوينـه وتطوره إلى زمن طويل .

ثبات خواص التربه مع الزمن :

كثيرا ما توصف التربه بأنها ناضجه Mature أو فى حالة ثبات Steady Srate فطاقة نظام التربه تكون فى تغـير مسـتمر كمـا أن تفـاعلات التربـه لاتتوقـف ولكـن خواص التربه قد لاتتغير أو أن معدل تغيرهـا يكـون بطيئـا لدرجـه يصعـب قياسـها . ويعتبر عامل الزمن مثالا نموذجيا لوصف حالة الثبات فعند تقويم خواص التربه كداله

للزمن فإن المنحنى يكون شديد الانحدار فى البدايه أى أن التغيرات تكون سـريعه فـى بداية تطور التربه . وبعد فترة من الزمن تقل سرعة التغير فـى خـواص التربـه ويتضـح ذلك بملاحظة قلة شدة انحدار المنحنى كثيرا حتى يصبح أفقيا تقريبا . وفى هذه الحاله نقول أن التربه وصلت إلى حالة الثبات . والشكل رقم (3-13) يوضـح علاقـة بعـض خواص التربه بالزمن ويتضح منه أن خواص التربـه تختلـف فيمـا بينهـا بالنسـبه للمـدة الزمنيه اللازمه لكى تصل إلى حالة ثبات .

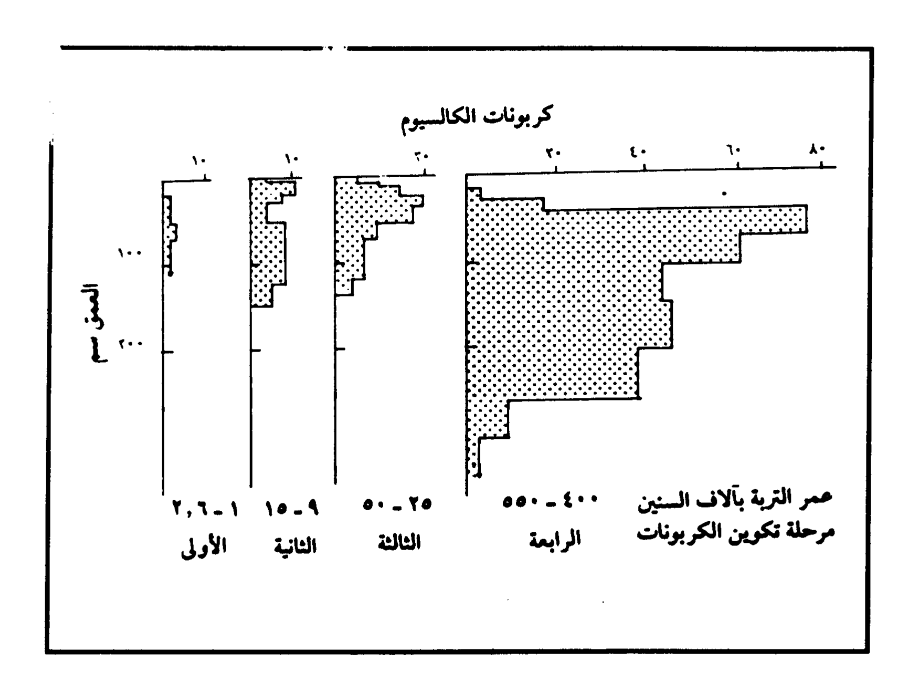


شكل (3-13) : العلاقه بين الزمن وبعض خواص التربه .

يلاحظ من الشكل أن الماده العضويه تصل إلى حالة الثبات بالتربه بدرجه أسرع من أى صفه أخرى وقد يتـم ذلـك فـى حـدود 200 سـنه (Person *et al.*, 1970) ويوجد كثير من الصفات الأخرى التى تتطور بسرعة كما يحدث للمـادة العضويـه ، فدرجة تركيز أيون الهيدروجين تصبح أكثر حامضيه بسرعه وتصـل إلى حالـة الثبـات فى غضون 280 سنه وتتأثر بمحتوى التربه من الكربونات ويتبـع المنحنـى الخـاص بهـا إتجاها معاكسا لغسيل الكربونات كما هو مبين بالشكل (3-14) .

ومن الناحيه الأخرى فإن بعض الصفات تحتاج لزمن طويل جدا لتكوينها ومثال

ذلك بناء الأفق الكالسى الذى يحتاج لزمن يزيد على 30,000 سنه والشكل رقم (3-14) يوضح مراحل بناء الأفق الكالسى لأراضى فى أعمار مختلفه .



شكل (3-14) : توزيع كربونات الكالسيوم مع العمق بأراضى ذات أعمار مختلفه .

وأيضا لابد أن نضع نصب أعيننا أن عاملين أو أكثر من عوامل تكوين الأراضى قد يعملان متلازمين وفى وقت واحد فمثلا مادة الأصل والمناخ يؤثران على النبت الطبيعى الناتج الذى سوف يؤثر على مادة الأصل فيما بعد .

وهذا التداخل بين عوامل تكوين الأراضى يؤدى إلى تعقيد الموضوع أكثر من حيث تقويم كيفية تكوين وتطور الأرض .

المعادله الأساسيه لتكوين الأراضى

دأب البيدولوجيون على تطوير طرق وصف وتعريف نظم التربه وتحديد العلاقات الحسابيه بين خواص التربه وعوامل تكوينها . فبالمعرفه الدقيقه لعوامل تكوين التربه يمكننا معرفة خواص التربه المتكونه بدقه كافيه وحدوث أى تغير فى أحد هذه العوامل قد يكون له تأثير مباشر على تغير خواص التربه . وقد قام العالم (Jenny,1941) بالربط بين عوامل تكوين التربه وخواص التربه فى صورة معادله كما يلى :

$$S \text{ or } s = f(cl, o, r, p, t, \ldots\ldots)$$

حيث :

S - التربه (Soil) ، s إحدى خواص التربه
f - داله (Function)
cl - المناخ Climate
o - العامل الحيوى Organisms
r - الانحدار Relief
p - مادة الأصل Parent material
t - الزمن Time
... - أية عوامل أخرى والتى قد يكون لها تأثير هام على تكوين أراضى معينه مثل الأملاح وغيرها .

وفى المعادله السابقه يلاحظ أن S, s تعتبر عوامل مستقله بينما (t, p, r, o, cl) تعتبر متغيرات غير مستقله . ووضع المعادله بهذه الصورة لا يتيح عمل دراسه تطبيقيه كميه نظرا لوضع جميع عوامل تكوين التربه كمتغيرات مستقله وبالتالى لا يمكن تتبع تأثير عامل معين على خواص التربه . وقد تغلب بنى Jenny على ذلك بحل المعادله على مراحل حيث ثبت كل عوامل تكوين التربه ماعدا العامل تحت الدراسة كما يلى:

$S = f(\underline{cl},o,r,p,t,....)$	Climosequence	دالة المناخ
$S = f(\underline{o},cl,r,p,t,....)$	Biosequence	دالة العامل الحيوى
$S = f(\underline{r},cl,o,\ p,t,...)$	To posequence	دالة الانحدار
$S = f(\underline{p},cl,o,r,t,....)$	Lithosequence	دالة مادة الأصل
$S = f(\underline{t},cl,o,r,p,....)$	Chronosequence	دالة الزمن

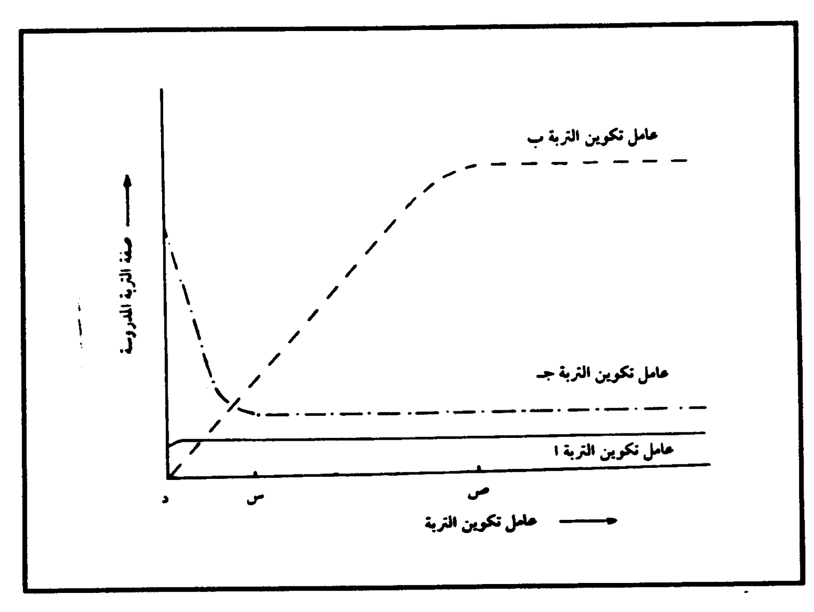
ولحل هذه المعادلات فإن العامل المطلوب دراسته (الذى تحته خط فى المعادلات السابقه) يكون هو المتغير الوحيد بينما تظل بقية عوامل تكوين التربه ثابته . ومن هذا يمكننا تتبع تغير إحدى أو بعض خواص التربه مع العامل المطلوب دراسته وإخضاع ذلك للتحاليل الأحصائيه .

وهناك حالتان للتحكم فى تثبيت بعض عوامل تكوين التربه لدراسة صفه معينه :

١- إذا كان مدى تأثير هذا العامل على الصفه المطلوب دراستها صغير جدا فيمكن إعتباره ثابتا وبالتالى يستبعد كعامل مؤثر على الصفه المنحنى أ بالشكل (3-15) .

٢- إذا كان مدى تأثير هذا العامل على الصفه المدروسه كبير جدا فى بعض الفترات ومحدود جدا فى مرحله معينه مثل المنحنى (ب) ، (ج) شكل (3-15) .

فعند تقدير العلاقه بين صفه معينه وعامل تكوين التربه (ب) فى حالة وجود العامل (ج) فإنه يلاحظ أن الفتره (دس) من المنحنيين (ب ، ج) تشير إلى إعتماد الصفه المدروسه على كلا العاملين فى هذه الفتره وبالتالى يصعب فصل تأثير أحدهما عن الأخر ومع ذلك فإن فى الفتره (س ص) يكاد يكون تأثير العامل (ج) على الصفه معدوما وبالتالى فإن الصفه المدروسه تصبح غير متوقفه على هذا العامل . وبهذا فإن الأختلافات فى خواص الصفه فى الفتره (س ص) تعزى فقط لتأثير العامل (ب) . وبالنسبه للفتره ما بعد (ص) فإنه يمكن أعتبار أن الصفه المدروسه غير مرتبطه بكلا العاملين ب ، ج (Birkeland , 1974) .



شكل (3-15) : تحديد أثر عوامل تكوين التربه على الصفات المدروسه .

كيفية تكوين التربة Soil Formation in Action

عند عمل حفرة فى الأرض وفحصها يلاحظ وجود طبقات أفقيه مميزه ومختلفه عن بعضها البعض (قطاع التربه Soil profil) وهذه الطبقات المميزه لايمكن ملاحظتها عند فحص المواد المفتته التى تم نقلها حديثا من مكان لأخر بواسطة البلدوزر مثلا . وهذا يعنى بوضوح حدوث تغيرات لمواد الأصل نتيجة تطور وتكوين التربه . ودراسة تكوين التربه (أجناس التربه) يعطينا فكره عن كيفية حدوث التغيرات فى قطاع التربه وبالتالى يمكننا من فهم تطور ونشاة أنواع التربه المختلفه .

عمليات تكوين التربه الأساسية Three Major Processes

تنشأ أجناس التربه Soil genesis نتيجة سلسله من العمليات أهمها مايلى :

أ ـ التجويه وتحلل المادة العضوية

Weathering and Organic matter breakdown

فعن طريق التجويه وتحلل الماده العضويه يحدث تغيير وتحوير لمكونات التربه كما يحدث تخليق لمواد جديدة .

ب ـ إنتقال المواد العضويه وغير العضويه Translocation

يحدث إنتقال للمواد العضويه والغير عضويه إلى أعلى أو أسفل القطاع الأرضى بواسطة الماء أو بواسطة أحياء التربه Soil organics .

جـ ـ تجمع accumulation

تجمع مكونات التربه فى طبقات أفقيه فى القطاع الأرضى وقد تتكون هذه الطبقات الأفقيه فى مكانها أو تنتقل من أسفل القطاع أو من أعلى القطاع .

مثال مبسط A simplified example

يمكن ملاحظة العمليات الأساسية فى تكوين التربه وذلك بتتبع التغيرات التى تحدث فى الأراضى المتكونه من مواد أصل متماثله . فتكوين التربه يبدأ حقيقة عندما تنمو النباتات ويحدث تراكم لبقايا هذه النباتات على سطوح مواد الأصل . ويلى ذلك تحلل جزئى لبقايا النباتات بواسطة ميكروبات التربه كما أن هذه الميكروبات تقوم بتخليق مواد عضويه جديده تسمى الدبال humus وتقوم حيوانات التربه مثل الديدان الأرضيه والنمل وغيرها بخلط هذه المواد العضويه مع المواد المعدنيه الموجودة تحتها قريبا من سطح مادة الأصل . وهذا الخليط الذى يحدث بسرعة نسبيا يعتبر هو الأفق الأول الذى تكون فى قطاع التربه وهذا الأفق يختلف فى تركيبه ولونه (أغمق) عن تركيب ولون مادة الأصل التى تكون منها .

تتكون الأحماض العضويه نتيجه لتحلل بقايا النباتات وتتخلل هذه الأحماض التربه بواسطة الماء مما يؤدى إلى تنشيط عملية التحويه الكيميائيه . وتعمل الأحماض على إذابة بعض المعادن والكيماويات التى بدورها تنتقل من الآفاق العليا إلى الآفاق السفلى بواسطة الماء (Leached) .

وبتقدم عمليات التجويه يحدث تحوير للمعادن الأساسيه وتتغير إلى معادن

الطين السليكاتيه المختلفه . وهذه المعادن المتكونه قد تتجمع فى مكان تكونها أو تتحرك إلى أسفل وتتجمع فى مناطق أخرى من التربه . ونتيجه لتحرك هذه المواد من منطقه إلى أخرى يحدث تكوين لأفاق التربه . وتتميز الأفاق السطحيه بانتقال بعض المواد منها ولذلك يطلق عليها أفاق السلب بينما تتميز الأفاق تحت السطحيه بتجمع بعض مكونات التربه فيها ولذلك تسمى أفاق الإضافه والنتيجه النهائيه هى تكون أفاق التربه Soil horizons التى تختلف اختلافا واضحا عن مادة الأصل .

إنتقال وتجمع المركبات البسيطة

Transport and Accumulation of Simple Compounds

ينتج عن التجويه مواد ذائبة تشمل الأيونات موجبة الشحنه (كاتيونات مثل Ca^{2+}) والأيونات سالبة الشحنه (أنيونات مثل SO_4^{-2}) . فى المناطق الرطبه تتحرك هذه الأيونات إلى أسفل بواسطة الماء وقد يمتصها النبات وتعود ثانية إلى التربه أو قد تزال من قطاع التربه عن طريق ماء الصرف .

أما فى المناطق التى تسقط بها كمية أمطار قليله فإن الأيونات التى تحركت للآفاق السفلى من القطاع قد تتحد مع بعضها لتكون مركبات غير ذائبيه مثل الكالسيت ($CaCO_3$) أو الجبس gypsum ($Ca\ SO_4 - 2H_2O$) وتكون طبقات من الكالسيت أو الجبس وهذه الطبقات تكون شائعه فى أراضى المناطق الجافه وشبه الجافه .

الخواص الفيزيائية Physical Properties

خلال عملية تكوين التربه يحدث أيضا تغير فى الخواص الفزيائية للآفاق فى قطاع التربه . وأفضل مثال لذلك هو التغيرات التى تحدث فى بناء التربه (نظام ترتيب الحبيبات إلى مجموعات) . فالطبقات المعدنيه العضويه القريبه من السطح تتميز ببناء حبيبى يختلف تماما عن البناء فى الآفاق تحت السطحيه أو فى مادة الأصل . تتميز الآفاق تحت السطحية بالبناء الكتلى blocky أو المنشورى prismatic . وبناء التربهSoil Structure (سيتم مناقشته فى الفصول القادمه) يعتبر أحدى الخواص الهامه التى تستخدم لوصف أفاق التربه وبالتالى فهى هامه جدا فى تقسيم الأراضى .

طبيعة أجناس التربة Soil Genesis in Nature

فى الأمثله السابقه تم توضيح ببساطه شديده كيفية تكوين آفاق التربه عن طريق عمليات التحويه والأنتقال والتجمع . ولذلك فعند دراسة الأفاق الموجوده فى الأتربه المختلفه دراسة متعمقه يجب أن نضع فى الاعتبار ما يلى :

أولا : أن مواد الأصل التى تتكون منها أنواع الأراضى المختلفه هى مواد أصل غير متشابهه أو متجانسه وتختلف أختلافا شديدا فيما بينها كما أنها تختلف أختلافا كبيرا باختلاف العمق وأن هذا الأختلاف موجودا أصلا قبل حدوث تطور للأراضى ولذلك فعند وصف الأراضى وتمييزها يجب أن نأخذ فى الاعتبار ليس فقط الآفاق الوراثيه والخواص التى تطورت خلال تكوين التربه وإنما أيضا الخواص أو الآفاق التى تم توريثها للقطاع من خلال مادة الأصل .

ثانيا : العمليات الوراثيه فى التربه لاتزال تحدث حتى هذه اللحظه ولكن بمعدلات مختلفه فى الأراضى المختلفه . وبالتالى نجد أن عمليات تميز القطاع فى بعض الأراضى تختلف إختلافا شديدا من أرض لأخرى فقد تكون مازالت فى بدايتها بالنسبه لبعض الأراضى بينما فى البعض الآخر تكون متقدمة جدا وذلك فى الأراضى التى يطلق عليها الأراضى المتطوره Well developed soils . ويعنى ذلك أن قطاع التربه الذى نراه اليوم يختلف عن قطاع التربه منذ 2000 سنه وأن هذا القطاع سوف يختلف عن القطاع الذى سيكون موجودا بعد 2000 سنه من الآن . وهذا يوضح الطبيعه الديناميكيه لأجناس التربه .

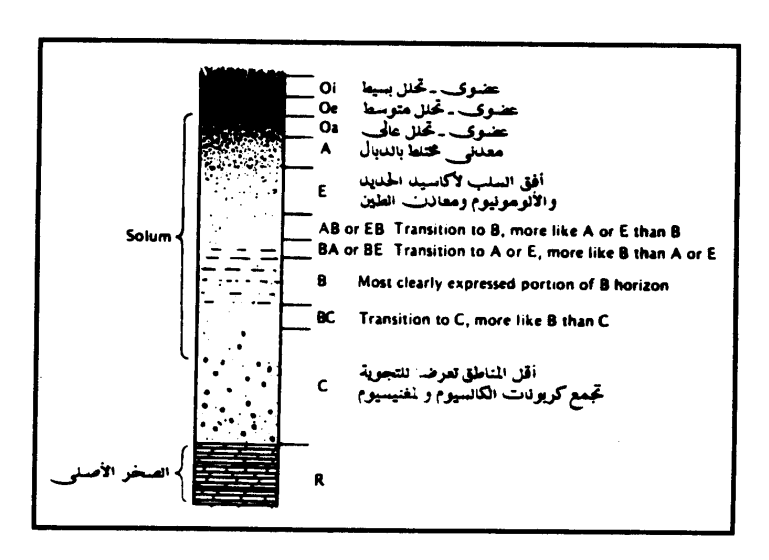
قطاع التربة The Soil Profile

تكوين وتطور الطبقات والآفاق كما تم وصفه سابقا أدى إلى نشأة الاجسام الطبيعيه التى يطلق عليها أتربه Soils . وكل تربه تحتوى على طبقات أو أفاق مميزه horizons . فأفق التربه Soil horizons هو طبقه موازيه تقريبا لسطحها وذات خواص تعكس تأثير عمليات تكوين التربه . وتتابع الأفاق فى الأتجاه الرأسى هو ما يطلق عليه قطاع التربه Soil profile . وفى الصفحات التاليه سوف نتناول بالشرح

الآفاق الرئيسيه التى يتكون منها قطاع التربه والتعريفات والمصطلحات التى تستخدم لوصف الآفاق فى قطاع التربه .

الآفاق الرئيسية The Master Horizons

لدراسة ووصف قطاع التربه يمكن التعرف على خمسة آفاق رئيسيه master horizons ويرمز لهذه الآفاق (باستخدام الحروف الانجليزيه الكبيره Capital letters) بالرموز O, A, E, B and C ويحتوى كل أفق من الآفاق الرئيسيه على طبقات ثانويه Subordinate layers ولتمييز هذه الأفاق الثانويه يرمز لها بحروف أنجليزيه صغيرة lowercase letters تصاحب الرموز الكبيره للأفاق الرئيسيه . ويوضح الشكل رقم (16-3) التابع الشائع للآفاق فى قطاع التربه .



شكل (16-3) :
رسم توضيحى إفتراضى يبين الآفاق الرئيسيه التى تتواجد فى قطاع نموذجى لتربه معدنيه فى المناطق الرطبه . علما بأن أى قطاع تربه يمكن أن يظهر فيه بعض هذه الآفاق كما أن عمق هذه الآفاق يختلف من تربه إلى أخرى وقد يظهر عدد من الآفاق الثانويه بدرجه أكبر من تلك الآفاق الموضحه بالشكل .

آفاق O (العضويه) O Horizons (organic)

الآفاق O هى عباره عن آفاق عضويه تتكون على سطح التربه المعدنيه من بقايا الحيوانات والنباتات وعادة ما تتواجد فى أراضى الغابات ونادرا ما تتواجد فى أراضى الحشائش والأفاق الثانويه العضويه هى :

Oi : أفق عضوى يتكون من ماده عضويه (بقايا النباتات والحيوانات) غير متحلله .

Oc : أفق عضوى يتكون من ماده عضويه ذات درجة تحلل متوسط .

Oa : أفق عضوى يتكون من ماده عضويه ذات درجة تحلل عاليه .

آفاق A (A Horizons)

وهى آفاق سطحيه للأتربه المعدنيه وتحتوى على ماده عضويه متحلله جزئيا والماده العضويه هى التى تعطى لهذه الآفاق اللون الداكن .

آفاق E (E Horizons)

وهى الآفاق المعدنيه تحت السطحيه التى فقدت الطين والحديد والألومنيوم بالغسيل ويتبقى بها بالتالى الرمل والسلت والمعادن المقاومه مثل الكوارتز . وعادة ما يكون أفق E ذو لون فاتح . وأحيانا يطلق على هذا الأفق إسم أفق الغسيل eluviation [مشتق من الكلمه اللاتينيه ex وتعنى (out) والمقطع Lavere (to wash)].

آفاق B (B Horizons)

وهى آفاق تحت سطحيه تحتوى على طبقات تجمع illuviation [من الكلمه اللاتينيه il بمعنى (in) والمقطع Lavere (to wash)] المواد المغسوله من أعلى أو أسفل . ففى المناطق الرطبه فإن آفاق B تعتبر آفاق تجمع أكاسيد الحديد والالومنيوم والطين السليكاتى . أما فى المناطق الجافه وشبه الجافه فتتجمع كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم فى أفق B .

فى الأراضى التى يكون فيها أفق A ذو سمك صغير فإن جزء من أفق B قد يتداخل مع طبقة الحرث ويصبح جزءا من الأفق السطحى . كما أن الأراضى التى

يكون فيها أفق A عميقا فإن طبقة الحرث أو top soil قد تحتوى على الجـزء العلوى من أفق A بينما تحت سطح التربه sub soil قد يحتوى على الجزء السفلى مـن أفـق A وأيضا أفق B لذلك سمي أفق B بإسم تحـت التربـه sub soil هـو تعبـير غـير صحيـح ويجب التفرقه بين المطلحـات المستخـدمه فـى إدارة التربـه soil managemert مثـل sub soil ، top soil والمصطلحات المستخدمه فى وصف قطاع التربه .

آفاق C (C Horizons)

وهى عباره عن المواد المفتته التى تقع تحت أفق B . وأفق C قد يكون عباره عن مادة الأصل التى تكون منها آفاق A , B ، قـد يكون مختلف عن مادة الأصل وبوجه عام فإن درجة تأثر أفق C بعمليات تكوين التربـه تكـون ضعيفـه وبمـرور الوقـت قـد تصبح الطبقات العليا منه جزء من طبقة الاستزراع نتيجة فعل عوامل التحويه .

طبقات R (R layers)

صخر متماسك يلى أفق C .

الآفاق الإنتقاليه Transition Horizons

وهذه الآفاق هى عباره عن آفاق إنتقاليه بين الآفاق الرئيسيه (O, A, E, B, C). والأفق الأنتقالى يتميز باحتوائه على الصفات الموجودة فى أفقين ولذلـك يرمـز للأفـق الأنتقالى بحرفين كبيرين Two Capital letters مثل BA, AB, AE, EB, BE, BC فالأفق AB يعتبر أفقا أنتقاليا بين أفق A ، أفق B ويشبه أفق A بدرجه أكبر وأفـق B بدرجه أقل .

وقد يكتب الأفق الإنتقالى بالصوره E/B وفى هذه الحاله يكون جزء مـن الأفـق الانتقالى له خواص الأفق E وجزء آخر منه له خواص أفق B .

التمييز بين الآفاق الرئيسيه Subordinate Distinictions

يتم التمييز والتفرقه بين الآفاق الرئيسيه باسـتخدام خصـائص معينـه مثـل اللـون وتجمع بعض المواد مثل الطين والأملاح وغيرها ويرمز لكل خاصيه من هذه الخـواص بحرف صغير lower case letter يدل على خاصيه معينه والجدول رقم (3-1) يوضـح الرموز المستخدمه للآفاق الثانويه ودلالتها . ومثال ذلك أفق Bt هو عباره عن أفق B يتميز بتجمع الطين (t) فيه وأفق Bk هو أفق B يتميز بتجمع الكربونات (k) .

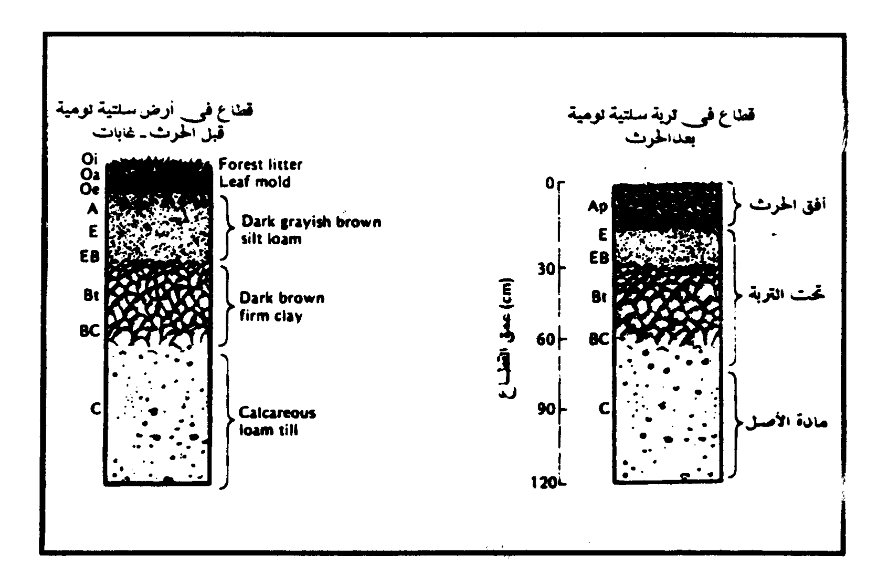
جدول (3-1) : الرموز المستخدمه للتمييز بين الآفاق الرئيسيه

الرمز Symbol	الدلالـــه Distinction
a	ماده عضويه عالية التحلل
b	أفق مدفون (buried)
c	تجمعات صلبه (concretions)
d	مواد مفتته كثيفه (Dense unconsolidated materials)
e	ماده عضويه متوسطة التحلل
f	تربه متجمده Frozon
g	ألوان إختزال قويه Strong gleying
h	تجمع ماده عضويه humus
i	ماده عضويه ضعيفة التحلل
k	تجمع الكربونات
m	تصلب induration
n	تجمع الصوديوم
o	تجمع أكاسيد الحديد والألومنيوم Fe & Al oxides
p	تربه مفككه نتيجة الحرث plowing
q	تجمع السليكا
r	صخر مجوى Weathered bedrock
s	تجمع الماده العضويه والحديد والألومنيوم
t	تجمع الطين السليكاتى
v	(تجمع حديد ومواد حمراء)
w	لون مميز أو بناء مميز
x	(كثافه ظاهريه عاليه) طبقه متصلبه Fragiban
y	تجمع الجبس
z	تجمع الأملاح الذائبه

الآفاق المتوقع وجودها فى القطاع الأرضى

Horizon Expected In Given Profile

ليس من المتوقع وجود كل الآفاق التى تم وصفها بالشكل رقم (3-16) فى القطاع الأرضى لتربه معينه . فمثلا الآفاق الشائع وجودها فى تربه جيدة الصرف هى A أو E أو كلاهما وكذلك Bw , B وأفق C وقد يتواجد أفق Oa أو Oe اذا كانت التربه منزرعه بالغابات فطبيعة أجناس التربه هى التى سوف تحدد بشكل عام الآفاق الموجودة بها (شكل رقم 3-17) .



شكل (3-17) :

قطاع فى تربه قبل وبعد الحرث والزراعة . ويلاحظ أن الطبقات السطحيه أختلطت ببعضها نتيجة الحرث ويرمز لها بالرمز Ap فاذا تعرضت هذه التربه لعوامل التعريه فإن هذه الطبقات السطحيه سوف تختفى جزئيا على الأقل والأفق السطحى قد يشمل جزء من أفق B .

مراجع الفصل الثالث

Birkeland, P.W. (1974). Pedology,Weathering and Gemorphological Research. Oxford Univ. Press, London.

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Bushnell, T.M. (1943). Some aspects of the Soil Catina Concept . Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 7: 466 - 76.

Dalrymple, T.B.; R.J. Blong, and A.J. Canacher (1968). A Hypothetical Nine Unit Land Surfrace Model. Z. Geomorph . 12: 60 - 76.

Gile, L.H. (1970). Soils of Rio Grange Valley Bordering South New Mexico. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 34: 465 - 467.

Harpstead, M.I.; F.D. Hole and W.F. Bennett. (1988). Soil Science Simplified. Ames. Iowa State Univ. Press.

Jenny, H. (1941). Factors of Soil Formation. McGraw-Hill Book Co. Inc., N.Y.

Parson, R.B.; C.A. Blaster and A.O. Mess (1970). Soil Development and Geomorphic Surfaces. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 485 - 491.

Troeh, F. R. (1975). Measuring Soil Creep. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 707 - 709.

يوسف ، أحمد فوزى (1987). البيدولوجى . نشأة ومورفولوجيا وتقسيم الأراضـى. عمادة شؤون المكتبات - جامعة الملك سعود - الرياض .



الفصل الرابع

تقسيم الأراضى

Soil Classification

- البيدون
- التقسيم الأمريكى الحديث
  - الآفاق التشخيصية
  - الهيكل العام لنظام التقسيم
  - التسمية فى نظام التقسيم
  - الرتب وتحت الرتب والمجموعات العظمى
  - العائلات والسلاسل الأرضية

4

تقسيم الأراضى

Soil Classification

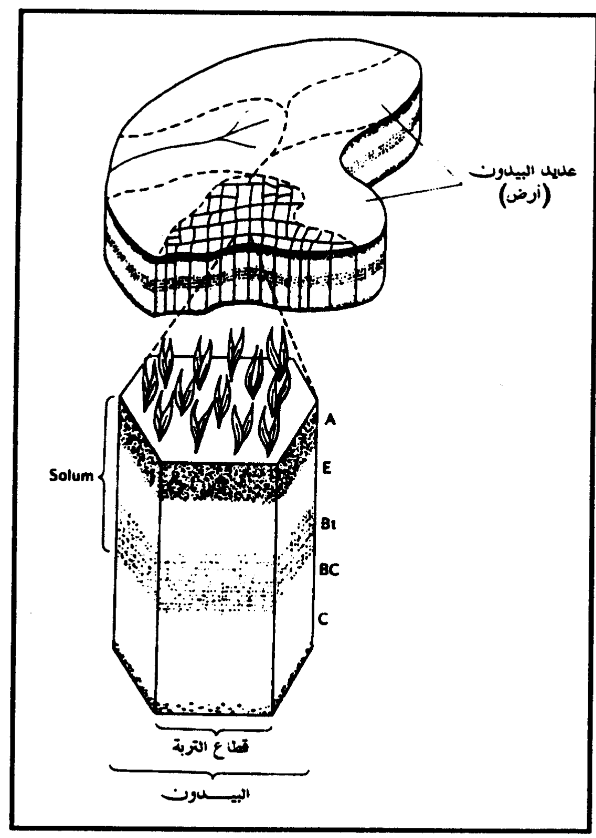
نتيجة لتكوين الأراضى وتطورها يحدث إختلاف كبير فى صفات القطاع الأرضى من مكان لآخر فيلاحظ وجود إختلافات كبيرة فى عمق القطاع ومحتوى القطاع من الطين والماده العضويه وأيضا فى درجة تطور الأفاق . وقد لوحظت هذه الأختلافات ليس فقط فى القارات المختلفة أو المناطق المختلفة وإنما فى أجزاء مختلفة من الحقل الواحد يفصل بينهم أمتارا قليله.

ولدراسة الأراضى فى مواقع مختلفة من العالم ولتبادل المعلومات عن هذه الأراضى فلقد تم وضع نظام تقسيمى للأراضى . ومن خلال هذا النظام التقسيمى يتم النظر إلى الأرض على أنها تتكون من عدد كبير من الوحدات الفردية individulal uints وأن كل أرض soil تملك عدد من الخواص التى تميزها عن غيرها من الأراضى .

البيدون PEDON

فى النظام التقسيمى للأراضى يتم دراسة التربه على أنها تتكون من عدد من الوحدات الأرضية يتم فحصها ودراستها حقليا لتحديد خواص وحدود هذه الوحدات . وهذه الوحدات تكون ذات ثلاث أبعاد تختلف فى المساحة من حوالى 1 إلى 10 m^2 حسب درجة الأختلافات فى التربه ويطلق عليها لفظ pedon . (pedon لفظ يونانى يعنى ground ــ شكل رقم 4-1) . ونظرا لصغر حجم الــ pedon بدرجة تكون غير كافيه لتحديد طبيعة الأفاق والأختلافات فى خواص التربه

وحدودها فلايمكن إعتبار البيدون وحدة أساسية فى نظام تقسيم الأراضـى . ولذلـك يتم إستخدام مجموعات مـن البيـدون pedons يطلـق عليهـا polypedons تكـون لها نفس الخواص الحقلية كوحدة أساسية للتقسيم وهذه الوحدة الأساسية هى التى تقابل soil series فى التقسيم الأمريكى الذى سيتم شرحه فيما بعد .



شكل (1-4):

رسم تخطيطى يوضح مفهوم كلا مـن البيـدون podon وقطاع التربـه ويلاحـظ وضـع مجموعـة مـن البيدون ذات الخـواص المتشـابهه مـع بعضهـا لتشـكل مسـاحة أكبر يطلـق عليها عديـد البيـدون (poly pedon) أو Individual Soil ويمثل الشكل العلوى Land Scape مقسم إلى عـدد من الأراضى Individual Soil .

نشأة نظم تقسيم الأراضى

Evolution of Soil Classification Systems

تقسيم الأراضى هو عبارة عن تبويب الأراضى فـى مجموعـات تربطهـا خـواص مشتركة داخل كل مجموعة . أى أن تقسيم الأراضى يشمل دراسة وتجميع المعلومات عن التربه باعتبارها نظما طبيعيه مستقله ثم تصنيفهـا وتسميتها بأسماء مستمدة من خواصها بطريقة سهله يمكن إستيعابها . وهـذه العملية التنظيميـة تمكننا مـن معرفـة أنواع الأراضى المختلفـة والإستفادة مـن التقنيـة الحديثـة المستخدمه فـى استزراعها وتطبيقها على الأراضى المناظره لها بالمناطق المختلفة .

وعملية تقسيم الأراضى تعرضت لكثير من التطورات نتيجه لعدم وجـود إتفـاق عام على أساس التقسيم . ويعتبر دوكيوشيف1883 (Dokuchaev) أول من فكر فـى تقسيم الأراضى على أساس أنها ذات خواص طبيعيه مرتبطه بالمنـاخ والغطـاء النبـاتى وأن تفاعل عمليات وعوامل تكوين التربه يمكن أن يعطى قطاعـات تربـه مميزه يمكـن إستخدام خواصها فى تقسيم التربه لعدة أقسام وعلى أساس مفاهيم دكيوشيف قـام العالم (Marbut, 1927) بعمل نظام لتقسيم أراضى أمريكا وتم تطوير هذا النظام عدة مـرات فـى 1935 ,1938 ,1945 . وقـد مهـدت كـل التطـورات السـابقة للتقسـيم الأمريكى الحديث (Soil Survey Staff, 1975) الذى عالج عيوب التقسيمات القديمة فى أنه لم يعتمد على عمليات تكوين الأراضى الا كدليل لتغير خواص التربه حيث أن عوامل تكويـن الأراضـى قـد قـامت بدورهـا وأصبحـت التربـه فـى حالـة ثبـات مـع الظروف البيئيه المحيطه بها . أى أن التقسـيم الأمريكـى الحديـث يركـز علـى خـواص التربه نفسها بوضعها الحالى . ولما كان هذا التقسيم يستخدم فى العديـد مـن البلـدان الأجنبية والعربية فسوف نتصدى بالشرح بشىء من التفصيل لنظام التقسيم الأمريكى . Soil Taxonomy

التقسيم الأمريكى الحديث Soil Taxonomy

يتميز نظام التقسيم الأمريكى الحديث (Soil Taxonamy (Soil Survey Staff, 1975 بميزتين أساسيتين هما :

١- اعتمـاد هذا النظـام على خـواص التربه للتفـريق بين أنـواع الأراضى المختـلفة

وبالتالى يتفادى هذا النظام أى تناقض قد ينشأ نتيجة إستخدام أجناس التربه soil genesis كأساس للتقسيم .

٢- إستخدام نظام تسميه يعتبر فريد من نوعه لأنه يعبر بدقه عن خواص التربه تحت التقسيم .

أساس التقسيم :

يعتمد نظام التقسيم الأمريكى الحديث Soil Taxonomy على :

(١) خواص الأراضى الموجودة بصورتها الحاليه . فجميع الخواص الكيميائيه والفيزيائيه والحيويه للأراضى يتم إستخدامها للحكم على نوع ومكان الأرض من التقسيم . ومثال الخواص الفيزيائيه التى يتم إستخدامها هى نسبة الرطوبه ، ودرجة الحرارة واللون والقوام والبناء أما الخواص الكيميائيه والمعدنيه فتشمل محتوى الأرض من المادة العضويه ، الطين وأكاسيد الحديد والألومنيوم ومعادن الطين السليكاتيه والأملاح ودرجة الحموضة ونسبة التشبع بالقواعد (جميع هذه الخواص تم التعرض لها فى أماكن مختلفة من هذا المرجع) .

(٢) وجود بعض آفاق التربه التشخيصيه الذى يتخذ أيضاً كأساس لوضع الأرض فى مكانها فى هذا التقسيم .

الآفاق التشخيصية Diagnostic Horizons

الآفاق التشخيصيه فى التربه تكون سطحيه surface أو تحت سطحيهSubsurface ويطلق على الآفاق التشخيصيه السطحيه أسم epipedons (وهى مشتقه من الكلمة اليونانية epi وتعنى over ، pedon وتعنى soil) ويشمل الـ epipedon الجزء العلوى الداكن من التربه نتيجة لوجود المادة العضويه أو آفاق الإضافه eluvial العلويه . أو كلاهما . كما يمكن أن يشمل الـ epipedon جزء من أفق B اذا كان هذا الأفق يحتوى على مادة عضويه بنسبة كبيرة تؤدى إلى دكانه لون هذا الأفق .

وتم التعرف على ستة آفاق تشخيصية سطحيه epipedons أربعة من هذه

الآفاق تكونت نتيجة عوامل وعمليات تكوين الأراضى وإثنين من هذه الآفاق تكونـا نتيجة النشـاط الإنسـانى والأسـتخدام المكثـف للتربـه وهمـا Anthropic ، plaggen (جدول رقم 4-1) .

جدول (4-1) : خواص الآفاق التشخيصيه فى الأراضى المعدنيه والتى تستخدم للتفريق بين أنواع الأراضى فى التقسيم الأمريكى .

Diagnostic horizon (and designation)	*Major feature*
Surface Horizons = Epipedons	
Mollic (A)	Thick, dark colored , high base saturation, strong structure
Umbric (A)	Same as Mollic except low base saturation
Ochric (A)	Light colored, low organic content, may be hard and massive when dry
Histic (O)	Very high in organic content, wet during some part of year
Anthropic (A)	Man-modified Mollic-like horizon, high in available P
Plaggen (A)	Man- made sod-like horizon created by years of manuring
subSurface Horizons	
Argillic (Bt)	Silicate clay accumulation
Natric (Btn)	Argillic, high in sodium, columnar or prismatic struture
Spodic (Bhs)	Organic matter, Fe and Al oxides accumulation
Cambic (B)	Changed or allered by physical movement or by chemical reactions
Agric (A or B)	Organic and clay accumulation just below plow layer resulting from cultivation
Oxic (Bo)	Highly weathered, primarily mixture of Fe, Al oxides and nonsticky-type silicate clays
Duripan (m)	Hard pan, strongly cemented by silica
Fragipan (x)	Brittle pan, usually loamy textured, weakly cemented
Albic (E)	Light colored, clay and Fe and Al oxieds mostly removed
Calcic (k)	Accumulation of $CaCO_3$ or $CaCO_3 \cdot MgCO_3$
Gypsic (y)	Accumulation of gypsum
Salic (z)	Accumulation of salts
Kandic	Accumulation of low activity clays
Petrocalcic	Cemented calic horizon
Petrogypsic	Cemented gypsic horizon
Placic	Thin pan cemented with iron alone or with manganese or O. M.[a]
Sombric	Organic matter accumulation
Sulfuric	Highly acid with Jarosits mottles

[a] O.M. = organic matter.

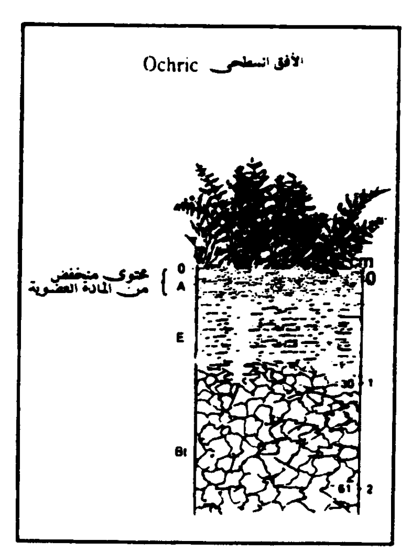
أما الآفاق التشخيصيه تحت السطحيه فتم التعرف على العديد منها وتعتبر آفاق تشخيصيه للعديد من الأراضى فى نطاق التقسيم الأمريكى . ويوضح الجدول رقم (1-4) الآفاق التشخيصيه السطحيه وتحت السطحيه والوصف العام لهذه الآفاق . كل أفق من هذه الآفاق التشخيصيه يعتبر خاصيه مميزه تساعد على وضع الأرض فى مكانها الصحيح فى التقسيم الأمريكى .

والآن سوف نناقش بإختصار الآفاق التشخيصية الأكثر شيوعاً وهى :

أولاً – الآفاق السطحية

١ – OCHRIC EPIPEDON

وهو أكثر الآفاق التشخيصية السطحية شيوعاً ويشتق إسم هذا الأفق من الكلمة اليونانية ochros وتعنى باهت pale . وهذا الأفق يكون فاتح اللون نتيجة لإنخفاض محتواه من المواد العضوية . وسمكه عادة رقيق جداً وقد يكون فى صورة طبقة صلبة كتلية عند الجفاف . ويشمل هذا الأفق طبقات التربة المغسولة السطحية وهو لايحتوى على بناء صخرى أو رواسب طبقية رقيقة حديثة (شكل رقم 4-2) .



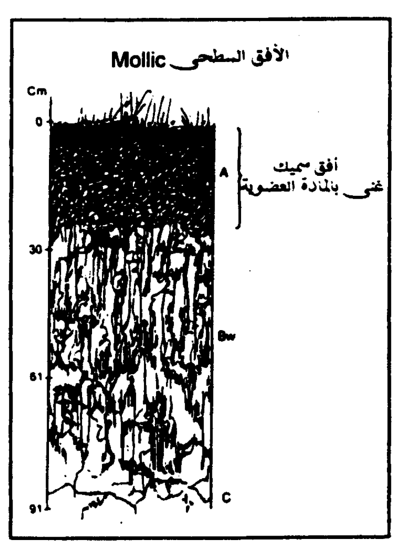
شكل (4-2) : الأفق السطحى Ochric epipedon

MOLLIC EPIPEDON - ٢

ويشتق إسم هذا الأفق من الكلمة اللاتينية Mollis وتعنى ناعم soft . وهو أفـق سطحى معدنى داكن اللون غنى بالدبال ، نسبة التشبع بالقواعد فيه 50% أو أكـثر . وبناء التربة فى هذا الأفق بناء قوى . ويتكون هذا الأفق تحـت ظـروف رطـبـة لـمـدة ٣ شهور تراكمية على الأقل فى السنة وعندما تكون درجة الحرارة 5°C (شكل 4-3) .

UMBRIC EPIPEDON - ٣

وهو أفق سطحى سميك داكن اللون لا يمكـن تمـيـيزه عـن الأفـق Mollic بـالنظر وقد يحتوى على نسبة أعلى من المادة العضوية إلا أن نسبة تشـبعه بـالقواعد أقـل مـن 50% .

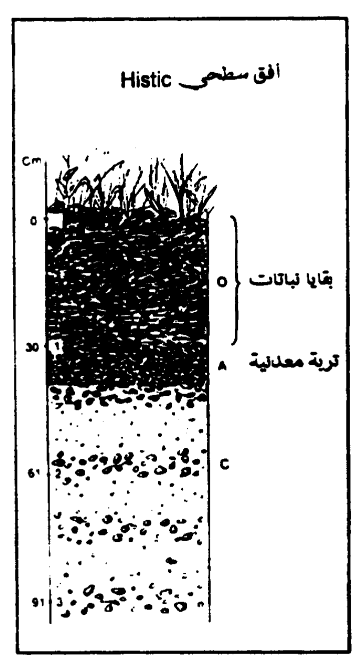


شكل (4-3) : الأفق السطحى Mollic epipedon

HISTIC EPIPEDON - ٤

وهو عبارة عن أفق O ويتكون من طبقة رقيقة مـن بقايـا النباتـات علـى سـطح التربة المعـدنـيـة . ويـتـطـور هـذا الأفـق إلى peat أو muck ذات سـمك يتراوح بين

20-40 cm . فإن هذا الأفق O يطلق عليه Histic epipedon (شكل 4-4) . وإسم الأفق مشتق من الكلمة اليونانية histose وتعنى نسيج tissue ويتطور هذا الأفق غالباً تحت الظروف المشبعة لمدة طويلة فى الأراضى المنخفضة low lands .



شكل (4-4) : الأفق السطحى Histic epipedon

ثانياً – الآفاق التشخيصية تحت السطحية

١ – CAMBIC HORIZON

وهو أفق تعرض لعمليات تجويه معتدلة و لم يحدث به تجمعات كثيرة من المواد المغسولة من الآفاق السطحية ولذلك فهو يتميز بوجود كمية معقولة من المواد المحواه ووجود مظاهر التحول فى صور مختلفة مثل :

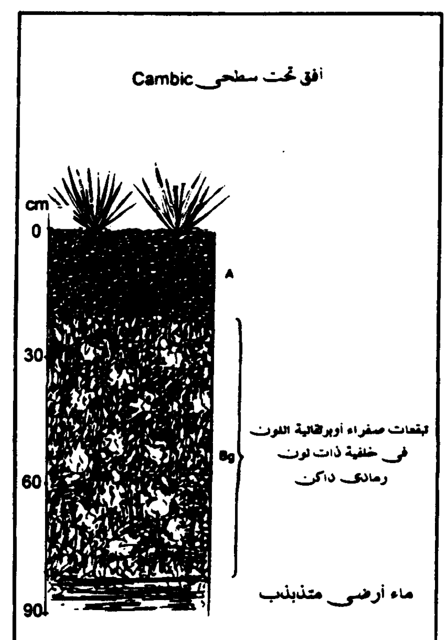
أ – وجود ألوان رمادية .

ب - درجة نقاء لونى قويه .

جـ - وجود دليل على إزالة الكربونات

د - وجود بناء للتربة وإختفاء بناء الأصل .

وإسم الأفق مشتق من الكلمة اللاتينية cambiare وتعنى يغير أو يتحول to change . وعادة ما يوجد هذا الأفق فى أراضى المناطق شبه الرطبة تحت أفق Mollic (شكل 4-5) .



شكل (5-4) : الأفق تحت السطحى Cambic horizon

٢ - أفق الطين ARGILLIC HORIZON

فى مناطق الغابات الرطبة والمناطق التى تتعرض لفترات جفاف موسمية تحتوى الآفاق تحت السطحية على نسب طين أعلى من الموجود فى أفق A أو أفق C وجزء كبير من هذا الطين قد يتكون نتيجة إنتقال الطين من أفق A أو قد يتكون نتيجة

تحول المعادن الأولية إلى معادن الطين . والحرف (t) فى الرمز Bt الموجـود بالشـكل (6-4) مأخوذ من الكلمة الألمانية tone وتعنى طين . وهـذا النـوع مـن الآفـاق تحـت السطحية يطلق عليه argillic horizon والإسم مشتق مـن الكلمـة اللاتينيـة Argillas وتعنى الطين الأبيض white clay .

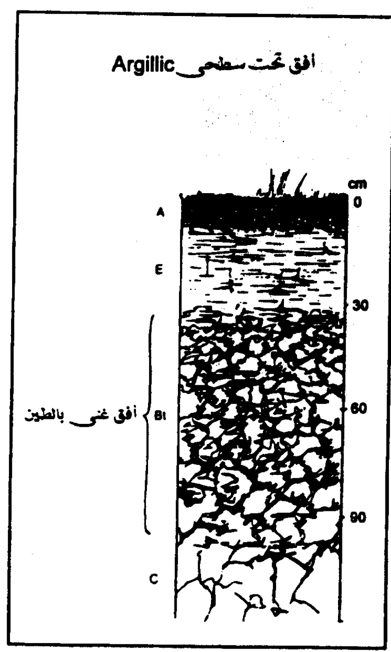
ويوجد نوعين من Argillic horizon هما :

- **الأفق الصودى Natric horizon**

وهو الأفق الذى يحتوى على كميات عالية من الصوديـوم لدرجـة تسـبب غلـق مسام التربة وتمنع تصرف الماء من خلاله .

- **Kandic horizon**

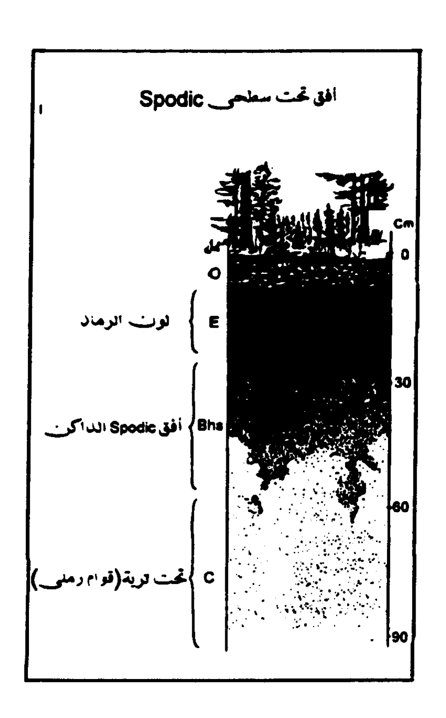
وهو الأفق الذى يحتـوى علـى معـادن الطـين قليلـة النشـاط مثـل الكـاؤوليتيت وبالتالى لايحتوى هذا الأفق على عناصر غذائية كافية ممسوكة على سطح الطين .



شكل (6-4) : أفق الطين Argillic horizon

٣ – أفق الترسيبات الأمورفيه النشطة SPODIC HORIZON

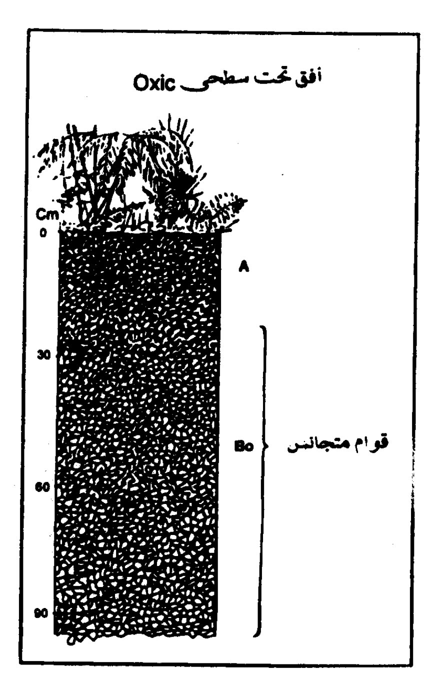
هو أفق ترسيب المواد الأمورفيه النشطة من مادة عضوية وألومنيوم مع الحديد أو بدونه ويقصد بالمواد الأمورفيه النشطة المواد ذات السعة التبادلية العالية مع كبر السطح النوعى لها . ويتراوح لون هذا الأفق من بنى محمر إلى أسود وتتكون هذه الألوان نتيجة تغليف المادة العضوية وأكاسيد الحديد والألومنيوم لحبيبات الرمل . ويرمز لهذا الأفق بالرمز Bhs (شكل 4-7) ، h تعنى humus بينما s تعنى حديد وألومنيوم sesquioxides . والإسم Spodic مشتق من الكلمة اليونانية spodos وتعنى رماد الخشب wood ash حيث أن مظهر الأفق يكون كمظهر الرماد .



شكل (4-7) : أفق الترسيبات الأمورفيه النشطة Spodic B horizon

٤ – أفق الأكسدة OXIC HORIZON

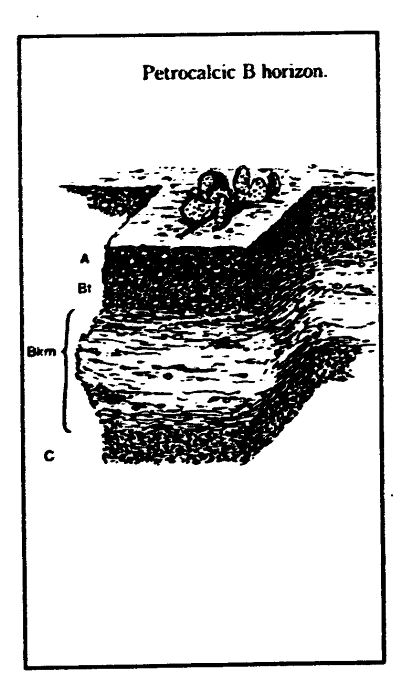
هو أفق معدنى تحت سطحى يتكون من أكاسيد متأدرته للحديد والألومنيوم ومعادن شديدة المقاومة للتجويه مثل الكوارتز وكميات متفاوته من معادن الطين 1:1 ويرمز له بالرمز Bo (شكل 4-8) ، ويتواجد هذا الأفق فى المناطق الإستوائية حيث تكون التجويه قوية ولمدة طويلة .



شكل (4-8) : أفق الأكسدة Oxic B horizon

٥ – الأفق الكالسى CALCIC HORIZON

يحتوى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة على أفق تجمع كربونات الكالسيوم أو كربونات الكالسيوم والمغنسيوم وإذا كان الأفق غنياً بالكربونات الثانوية المتماسكة أو المتصلبة لدرجة أنها لاتتشرب الماء فإنها تعتبر فى هذه الحالة كالسية متحجرة Petrocalcic horizons ويرمز لها بالرمز Bkm (شكل 4-9) .



شكل (4-9) : أفق كالسى متحجر Petrocalcic horizon

٦ - الآفاق التشخيصية تحت السطحية الأخرى

وهذه الآفاق تم وصفها بإختصار بالجدول رقم (4-1) وهذه الآفاق بالرغم من كونها آفاق تشخيصية إلا أنها غير واسعة الإنتشار ومثال ذلك **Albic horizon** الذى هو عبارة عن طبقة بيضاء أو رمادية من الكوارتز غير المغلف بأية أكاسيد . ولذلك سوف نكتفى فى هذه المرحلة بالوصف الموجود لهذه الآفاق فى الجدول السابق ذكره .

الهيكل العام لنظام التقسيم الأمريكى الحديث

يشتمل نظام التقسيم الأمريكى **Soil Taxonomy** على ستة درجات **six categories** وهى :

أ - رتبه	Order	د - تحت مجموعه	Subgroup
ب - تحت رتبه	Suborder	هـ - عائله	Family
جـ - مجموعه عظمى	Great group	و - سلسله	Series

وهذا التقسيم يشابه إلى حد كبير التقسيم المستخدم فى المملكه النباتيه ويوضح الجدول (2-4) أوجه الشبه بين تقسيم المملكه الأرضيه ، تقسيم المملكة النباتيه ويلاحظ من الجدول أن البرسيم (Trifolium repens) يمثل نوع معين من النبات بينما Miami silt loam تمثل نوع معين من التربه ويتدرج التشابه فى القسمين حتى نصل إلى phylum بالنسبة للنبات ، order بالنسبة للأرض .

جدول (2-4) : مقارنة بين تقسيم المملكة النباتية (نبات البرسيم Trifolium repens) وتقسيم المملكة الأرضية (سلسلة ميامى Miami series) .

Plant classification		*Soil classififcation*	
Phylum	Pterophyta	Order	Alfisols
Class	Angiospermae	Suborder	Udalfs
Subclass	Dicotyledoneae	Great Group	Hapludalfs
Order	Rosales	Subgroup	Typic Hapludalfs
Family	Leguminosae	Family	Fine loamy, mixed, mesic
Genus	*Trifolium*	Series	Miami
Species	*repens*	Phase	Miami, eroded phase

وسوف نتعرض بشيء من التفصيل للوحدات Categories السته فى التقسيم الأمريكى الحديث وكذلك طريقة التسميه nomenclature .

الرتبه Order

هى أعلى درجات التقسيم وتعتمد بدرجة كبيرة على وجود أو غياب الآفاق التشخيصيه المتكونه نتيجة فعل عمليات تكوين الأراضى . مثال ذلك أن العديد من الأراضى التى تكونت وتطورت فى وجود الحشائش كنبت طبيعى grassland vegetation يكون لها نفس تتابع الآفاق وتتميز بوجود أفق تشخيصى سطحى Mollic horizon epipedon ذو محتوى عالى من الكاتيونات القاعدية .

ولذلك فإن هذه الأراضى غالباً ما تكون قد تكونت تحت ظروف بيئية واحدة ولذلك فإنها توضع فى رتبه واحدة هى رتبة Mollisols . ويلاحظ أن إسم الرتبه تنتهى بالمقطع Sol المأخوذ من الكلمه اللاتينيه Solum وتعنى Soil .

ويحتوى التقسيم الأمريكى الحديث على إحدى عشر رتبه وفيما يلى أسماء رتب التقسيم ومدلولاتها (جدول 4-3) .

1 - Entisols :	أراضى حديثة ذات تطور ضعيف وغالبا ما تحتوى على Ochric epipedon .
2 - Inceptisols :	أراضى فى بداية مرحلة التطور وقد يوجد بها Cambic horizon Umbric epipedon .
3 - Aridisols :	أراضى المناطق الجافه ويوجد بها Ochric epipedon .
4 - Mollisols :	أراضى الحشائش تتميز بوجود Mollic epipedon .
5 - Alfisols :	وهى أراضى الأقاليم ن الرطبه المغسوله من الجير وتتميز بوجود Natric horizon أو Argillic .
6 - Ultisols :	وهى أراضى معرضه لعمليات غسيل شديدة وذات محتوى منخفض من القواعد .
7 - Oxisols :	أراضى تعرضت لتحويه شديدة وتتميز بوجود Oxic horizon.
8 - Vertisols :	أراضى ذات محتوى عالى من الطين المتمدد وعند الجفاف يحدث بها شقوق عميقة .
9 - Spodosols :	أراضى يوجد بها أفق Spodic مع تجمع الحديد والألومنيوم والمادة العضويه .
10 - Histosols :	أراضى تحتوى على أكثر من 30% مادة عضويه .
11 - Andisols :	أراضى تكونت أساسا من نواتج البراكين ويسود بها معقدات الدبال مع الألومنيوم .

جدول (4-3) : أسماء رتب الأراضى فى التقسيم الأمريكى الحديث وخصائصها ومشتقات الأسماء.

	Formative element		
Name	*Derivation*	*Pronunciation*	*Major characteristcs*
Entisols	Nonsense symbol	*Recent*	Little profile development, ochric epipedon common
Inceptisols	L. *inceptum*, beginning	*Inception*	Embryonic soils with few diagnostic features, ochric or umbric epipedon; cambic horizon
Mollisols	L. *Mollis*, soft	*Mollify*	Mollic epipedon, high base saturation, dark soils, some with argillic or natric horizons
Alfisols	Nonsense symbol	*Pedalfer*	Argillic or natric horizon; high to medium base saturation
Ultisols	L. *ultimus*, last	*Ultimate*	Argillic horizon, low base saturation,
Oxisols	Fr. *oxide*, oxide	*Oxide*	Oxic horizon, no argillic horizon, highly weathered
Vertisols	L. *verto*, turn	*Invert*	High in swelling clays; deep raks when soil dry
Aridisols	L. *aridus*, dry	*Arid*	Dry soil, ochric epipedon, sometimes argillic or natric horizon
Spodosols	Gk. *Spodos*, wood ash	*Podzol; odd*	Spodic horizon commonly with Fe, Al, and humus accumulation
Histosols	Gk. *Histos*, tissue	*Histology*	Peat or bog; > 30% organic matter
Andisols[a]	Modified from Ando	*Andesite*	From volcanic ejets, dominated by allophane or Al-humic complexes.

[a] Only recently added as a soil order

تحت الرتبه Suborder

تنقسم الرتبه order إلى أقسام (تحت رتبه suborder) تبعا لخواص وراثية معينه على أساس أحد العوامل التاليه :

أ ـ النظام الرطوبى . ب ـ النظام الحرارى .

جـ - التركيب المعدنى (أختلافات مواد الاصل) .

د - وجود آفاق معينه (عمليات تكوين التربه) .

حيث أن دراسة العوامل السابق ذكرها يساعد على تحديد طبيعة العمليات الوراثية فى الأراضى وبالتالى تساعد على تحديد تحت الرتبه . وحتى الآن تم التعرف على حوالى 47 تحت رتبه .

المجموعه العظمى Great Group

تقسم كل تحت رتبه suborder إلى مجاميع عظمى Great groups وتستخدم الآفاق التشخيصية diagnostic horizons كأساس للتفريق بين المجموعات العظمى التى تقع داخل تحت الرتبه Suborder الواحدة . ولقد تم التعرف على 230 مجموعه عظمى .

تحت المجموعه Subgroup

وهى عبارة عن أقسام تقع داخل المجموعه العظمى great group . والمفهوم الرئيسى للمجموعه العظمى هو تحت المجموعه النموذجى typic أما تحت المجموعات الأخرى فهى تتميز بخواص معينه داخل إطار المجموعه العظمى أو تنحرف عن إطار المجموعه العظمى . وحتى الآن تم التعرف على 1200 تحت مجموعه .

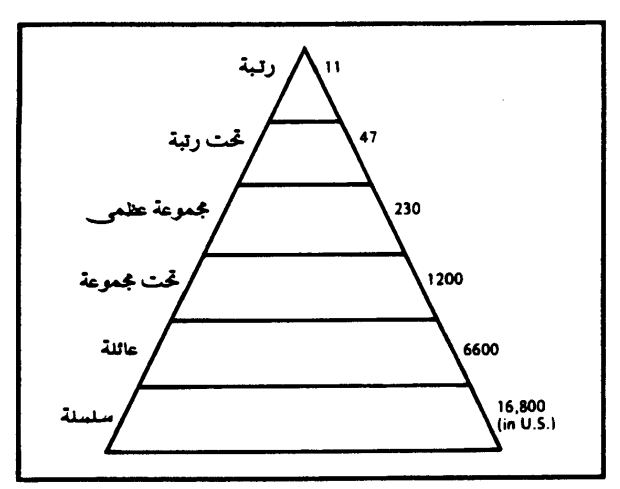
العائله Family

وتحتوى على أقسام الأراضى الموجوده فى تحت المجموعه Subgroup والتى تتشابه فى الخواص الفيزيائيه والكيميائيه المؤثره على نمو النبات وخاصة إختراق جذور النبات للتربه . وعادة مايتخذ القوام ، درجة الحرارة ، عمق القطاع الأرضى ، والمعادن السائدة كأساس للتفرقه بين العائلات المختلفة . وقد تم التعرف على 6600 عائله .

السلاسل Series

وهى أدنى درجات التقسيم الأمريكى الحديث وهى تعتبر أقسام داخل العائله الواحدة وعادة مايتخذ أنواع الآفاق ودرجات ترتيبهم كأساس للتفرقه بين السلاسل داخل العائله الواحدة. ولقد تم التعرف على حوالى 16800 سلسله فى الولايات

المتحدة الأمريكية (شكل رقم 4-10) .



شكل (4-10) : الهيكل العام لنظام التقسيم الأمريكي الحديث Taxonom-y وعدد الوحدات التقريبيه فى كل قسم .

التسميه فى نظام التقسيم الأمريكى Nomenclature

يتميز التقسيم الأمريكى الحديث بنظام تسميه فريد فى نوعه يستخدم للتفرقه بين أقسامه المختلفة . فأسماء وحدات التقسيم هى عبارة عن مزيج من المقاطع المشتقة من اللاتينيه أو اليونانيه . فنجد أن أسم التربه يتكون من عدة مقاطع وكل مقطع يعبر عن خاصيه من خواص هذه التربه ولذلك فإن إسم التربه يصف تلقائيا نوع التربــه داخـل نظام التقسيم الأمريكى .

فمثلا : أراضى رتبه Aridisols (مشـتقه من الكلمة اللاتينيـه aridus بمعنـى dry و Solum بمعنى Soils) تعبر عن أراضى المناطق الجافه .

أيضا : أراضى رتبه Inceptisols (مشتقة من الكلمة اللاتينيه inceptum وتعنـى beginning و solum وتعنى soil) تعبر عن الأراضى التى فى بداية مرحلة التطور .

مما سبق نجد أن أسماء رتب الأراضى فى التقسيم الأمريكى الحديث يتكـون مـن مقطعين :

(a) مقطع يعبر عن خاصية سائدة فى الأراضى formatiive element وعادة ما يكون هذا المقطع مشتق من اللاتينيه أو اليونانية .

(b) مقطع نهاية الإسم وهو sol ومشتق من الكلمة اللاتينيه solum وتعنى soil .

أما أسماء تحت الرتبه فهى تلقائيا تميز إسم الرتبه التى تتبعها فمثلا أراضى تحت رتبه Aquolls هى أراضى رطبه (مشتقه من الكلمة اللاتينيه aqua وتعنى water) تقع داخل رتبه Mollisols . أيضا أسماء المجموعة العظمى تعبر تلقائيا عن إسم الرتبه وتحت الرتبه التى تتبعها . فالمجموعه العظمى Argiaquolls تتبع تحت رتبه Aquolls وتتميز بوجود آفق argillic (مشتق من الكلمة اللاتينيه argilla وتعنى White clay).

ولتوضيح التسميه نذكر المثال التالى :

Mollisols	Order	رتبه
Aquolls	Suborder	تحت رتبه
Argiaquolls	Great group	مجموعه عظمى
Typic Argiaquolls	Subgroup	تحت مجموعه
Typic Argiaquolls, Fine, mixed, mesic	Family	عائلة

ويلاحظ فى المثال السابق وجود oll فى كل وحدات التقسيم (تحت رتبه – مجموعه عظمى - تحت مجموعه - عائله) وبالتالى يفهم منها مباشرة أنها تتبع رتبه Mollisols .

أيضا نجد أن إسم تحت رتبه Aquolls يكون جزء من إسم المجموعه العظمى ، تحت المجموعه Subgroup التى تقع داخل تحت رتبه aquolls لذلك فمعرفة إسم تحت المجموعه يمكننا مباشرة من معرفة إسم المجموعه العظمى ، تحت الرتبه ، الرتبه التى تبعها .

أسماء العائله بوجه عام توضح الأراضى الموجودة داخل تحت المجموعه الواحدة Subgroup وتتشابه فى القوام والتركيب المعدنى ودرجة حرارة التربه على عمق 50 cm . ولذلك فإن إسم العائله Typic Argiaquolls, fine, mixed, mesic تعبر

عن العائله التى تتبع تحت المجموعه Typic Argiaquolls ويتميز بقوام ناعم (fine) والتركيب المعدنى عبارة عن معادن طينيه مختلطة (mixed) ، درجة حرارة التربه تتراوح بين (mesic, 8-15°C) .

وأسماء السلاسل الأرضية غالبا مايشير إلى الموقع الجغرافى للتربه فتأخذ السلسلة إسم مكان قريب من المنطقة التى وجدت بها لأول مرة ولذلك فإن أسماء السلسلة مثل (Fort Collins , Ontario, Miami) تعبر عن الأراضى التى وجدت فى هذه المناطق أو قريبه منها لأول مرة .

وعند عمل حفر للتربه فى الحقل فغالبا مايتم التفرقه بين السلاسل الأرضية Soil Series على أساس نوع القوام أو صفات أخرى ويطلق على وحدات الخرائط الحقلية Field mapping unit إسم Soil Phase فأسماء مثل Fort Collins loam أو Cecil clay هى عبارة عن تسميات للتفرقه بين Phase المختلفة ويجب ملاحظة أن Soil Phase لايعتبر وحدة من وحدات التقسيم فى النظام الأمريكى الحديث Soil Taxonomy .

رتب الأراضى فى نظام التقسيم الأمريكى Soil Orders

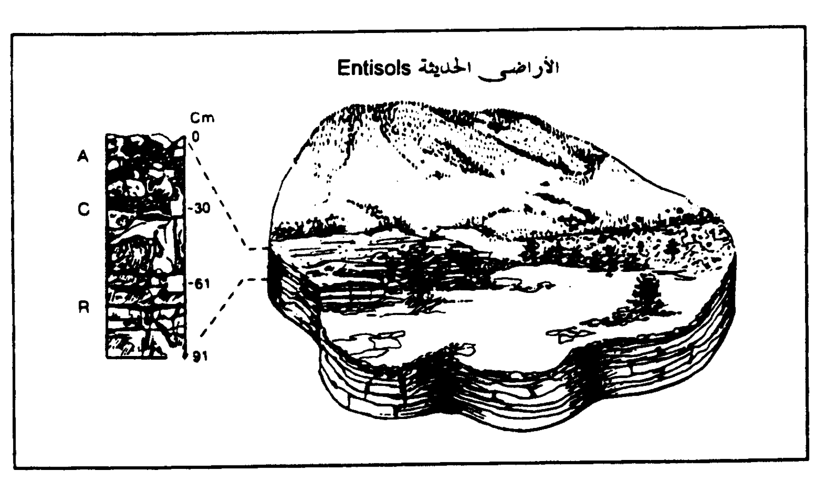
كما تم ذكره سابقا فإن عدد رتب الأراضى التى تم التعرف عليها فى نظام التقسيم الأمريكى إحدى عشر رتبه . وأسماء هذه الرتب وخصائصها موضحه بالجدول رقم (4-3) ويلاحظ أن أسماء الرتب جميعها تنتهى بالمقطع Sol (مشتقه من الكلمة اللاتينيه Solum وتعنى Soil) .

وفيما يلى نبذة عن كل رتبه من هذه الرتب .

رتبه الأراضى الحديثة ENTISOLS

رتبه Entisols تشتمل على الأراضى المعدنيه ضعيفه التطور والتى لايوجد بها آفاق تحت سطحيه أو أن هذه الآفاق فى بداية تكوينها (شكل 4-11) وكثير من أراضى هذه الرتبه ذات آفاق سطحيه epipedons من النوع Ochric وقليل منها Anthropic وأراضى هذه الرتبه قد تكون من الحداثه لدرجة أن زمن تكوينها يكون

غير كاف لتكوين آفاق وراثيه . والبعض الآخر قد يكون قديما جـدا ولكـن تركيبهـا الغالب عباره عن معادن مقاومه للتجويه كالكوارتز مثـلا فـلا يسـمح بتكويـن آفـاق وراثيه .



شكل (4-11) : الأراضــى الحديثـة Entisols

وتنتشر أراضى رتبه Entisols إنتشارا واسعا فى العالم حيث أنهـا تتواجـد تحـت أى نظام رطوبى أو مادة أصل أو غطاء نباتى ويعتبر ترتيبها هو السادس بالنسبة لمـدى إنتشارها . فهى تنتشـر فـى المنـاطق الجبليـه والصحـارى والمنـاطق الرمليه كمـا أنهـا تتواجـد فـى المنـاطق القطبيـه . فمثـلا Sandy Entisols (psamments) توجـد فـى فلوريدا وجورجيـا ـ ونبراسكا . كمـا أنهـا تتواجـد فـى صحـارى المملكـه العربيـه السعودية وأجزاء من جنوب أفريقيا وشمال اسـتراليا . وتبلـغ نسـبة أراضـى Entisols حوالى 20% من مساحة الكره الأرضية .

وتختلف القـدرة الإنتاجيـة لأراضـى هـذه الرتبـه (Entisols) إختلافـا كبـيرا تبعـا لموقعها وخصائصها وبالتسميد الجيد وحسن إستخدام مياه الرى يمكن لأراضـى هـذه الرتبـه أن تكون جيدة الإنتـاج وفى الواقـع فـإن أراضى Entisols التى تطورت فى

سـهول الفيـض Flood plains تعتـبر مـن أكـثر أراضـى العـالم إنتاجيـه . ومحـددات استخدام هذه الأراضى تنحصر فى الماء ، عمق التربه ومحتواها من الطين وهذا بالقطع يحد من الأستخدام المكثف لمساحات كبيرة من أراضى هذه الرتبه .

وتنقسم رتبه الأراضى الحديثه Entisols إلى خمس تحت رتب Suborders :

١- تحت رتب Aquents

وهى الأراضى الحديثه ذات نظام الرطوبه المائى فهى عادة ما توجـد بهـا مظـاهر الوان الأختزال الزرقاء المخضره والتى لاتختفى وقد تكون شديدة التبقع . وهى توجد بصورة عامه بالأراضى المشبعه بالماء بصفه دائمه أو موسميه وتحتاج لنظام صرف جيـد عند استزراعها .

٢- تحت رتبه Arents

وهى الأراضى الحديثه ذات النظام الرطوبـى الرطـب ولكـن حالـة الصـرف بهـا أفضل من تحت رتبـه Aquents . وتكونـت الأراضـى فـى هـذه التحـت رتبـه بفعـل النشاط البشرى نتيجة الحرث العميق أو عمليات التسـويه عنـد الأستصلاح ولذلـك فهذه الأراضى لاتحتوى على آفاق وراثيه .

٣- تحت رتبه Fluvents

وهى أراضى حديثة لايتجاوز عمرهـا مئـات السـنين تكونـت نتيجـة الترسـيبات المائيه بسهول الفيض والمراوح ودلتا الانهار ونظراً لحدوث الترسـيبات مـن أسـفل إلى أعلى فإن قطاع التربه يعتبر قطاعا مقلوبا . وتتميز هذه الأراضى بعدم إنتظام إنخفـاض نسبة المادة العضويه مع العمق وهذه الخاصية تعد أساس تعريف أراضى هـذه التحـت رتبه .

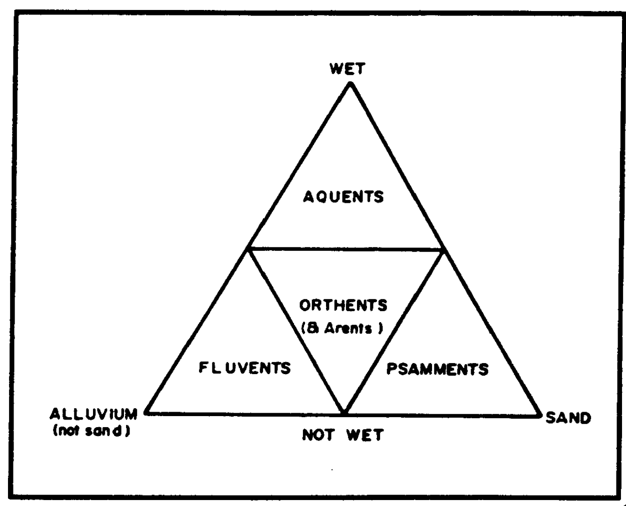
٤- تحت رتبه Orthents

وهى أراضى طمييه أو طينيه توجد غالبا على الأسطح المعرضه للتعريه ولا يوجـد بها آفاق بيدوجينيه . وتتكون هذه الأراضى فى مدى واسع من المناخ والغطاء النباتى وتتميز بحدوث إنخفاض منتظم فـى المـادة العضويـه مـع العمـق . والقطـاع فـى هـذه الأراضى عادة مايكون غير عميق نتيجة التعرض للتعريه .

٥- تحت رتبه Psamments

وهى أراضى ذات قوام رمل طمى ناعم أو خشن أسـفل طبقـة الحـرث أو عمـق 25 cm وذلك حتى عمق 1 متر مالم توجـد طبقـه حجريـه علـى عمـق أقـل . وهـذه الأراضى سريعة النفاذيه ذات قدره ضعيفه على الأحتفاظ بالماء وهـى عرضـه للتعريـه والرياح .

ويوضح الشكل رقم (4-12) العلاقه بين أراضى تحت الرتب الواقعه داخل رتبـه Entisols .



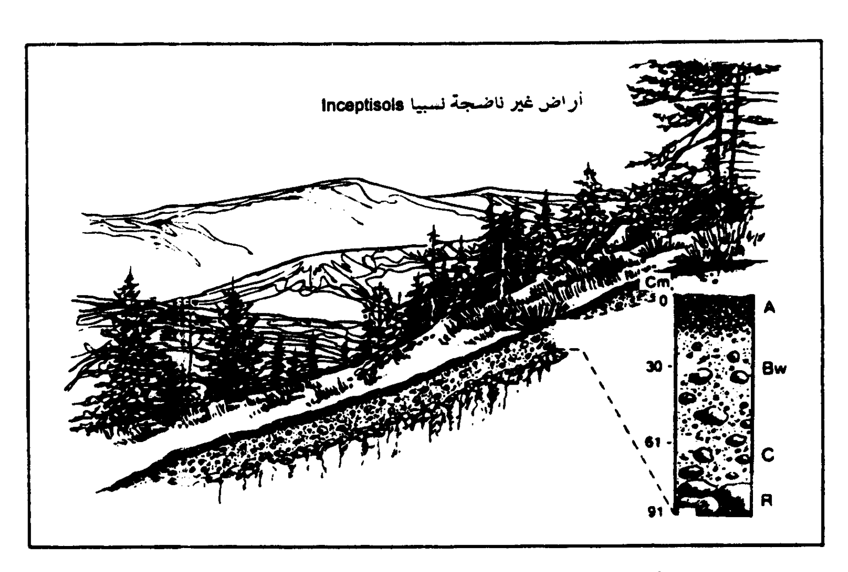
شكل (4-12) :
العلاقه بين أراضى تحت الرتب الواقعه داخل رتبه Entisols (Buol *et al.*, 1980)

رتبه الأراضى ضعيفة التطور INCEPTISOLS

وهى تمثل الأراضى الأكثر تطوراً مـن رتبـة الأراضـى الحديثـة Entisols حيـث يظهر بها آفاق وراثية إلا أنها لم تصل بعـد لدرجـة التطـور الكـامل . وأراضـى هـذه الرتبه تحتوى على آفاق بيدوجينيه سطحيه متطـوره umbric or ochric epipedons ، أفق تحت سطحى B ضعيف التطور cambic horizon (شكل 4-13). وأراضى هـذه

الرتبه ذات مدى إنتشار واسع بين المناطق القطبيه والأستوائيه وتعتبر ثانى أكثر الرتب أنتشاراً بالولايات المتحدة الأمريكية .

وأنتاجيه أراضى هذه الرتبه تختلف إختلافاً كبيراً فيما بينها فعلى سبيل المثال فإن أراضى هذه الرتبه الموجوده فى شمال غرب الباسفيك تعتبر أراض خصبه جداً بينما الأراضى التابعه لهذه الرتبه الموجوده فى جنوب نيويورك وشمال بنسلفانيا تعتبر أراضى غير خصبه .



شكل (13-4) : الأراضى ضعيفة التطور Inceptisols

وتشمل هذه الرتبه سته تحت رتب هى :

تحت رتبه Aquepts

وهى أراضى الرماد البركانى الحديثه وتتميز بدكانة لون الآفاق السطحيه أما تحت التربه فيلاحظ بها تبقعات نتيجه للصرف المحدود . وأراضى هذه التحت رتبه فى المناطق الدافئه تعتبر من أهم أراض زراعة الأرز فى العالم .

تحت رتبه Ochrepts

وهى أراضى ذات صرف جيد فاتحة اللون وتحت التربه فيها يميل إلى اللون البنى. وهذه الأراضى يكثر وجودها على المنحدرات ذات التعريه النشيطة بالمناطق الجبليه كما أنها تتكون على مواد أصل متنوعه من رسوبيه ومتحوله وناريه . وجود أراضى هذه التحت رتبه بالمنحدرات وتعرضها للتعريه يشكل عقبه فى أستزراع هذه الأراضى كما أن وجود طبقات صلبه يحد من إنتشار المجموع الجذرى .

تحت رتبه Andepts

وهى الأراضى التى تتكون بمناطق النشاط البركانى بالجبال أو قريبه منها ويسود بها الطبيعه الأمورفيه للجزء المعدنى التى ترثها من مادة الأصل . ويساعد الطين الأمورفى فى المحافظة على المادة العضويه لذلك فهى تحتوى على نسبه مرتفعه منها كما أن سعتها التبادليه كبيرة ولها القدره على تثبيت الفوسفور فى صورة صالحة .

تحت رتبه Umberpts

وهى أراضى المناطق الجبليه غزيرة الأمطار والتى تتميز بوجود آفاق سطحيه داكنه اللون ذات محتوى مرتفع من المادة العضويه . والآفاق السطحيه epipedons الموجوده بها تكون من النوع Umbric والآفاق تحت السطحيه يكون من النوع Cambic و Anthropic .

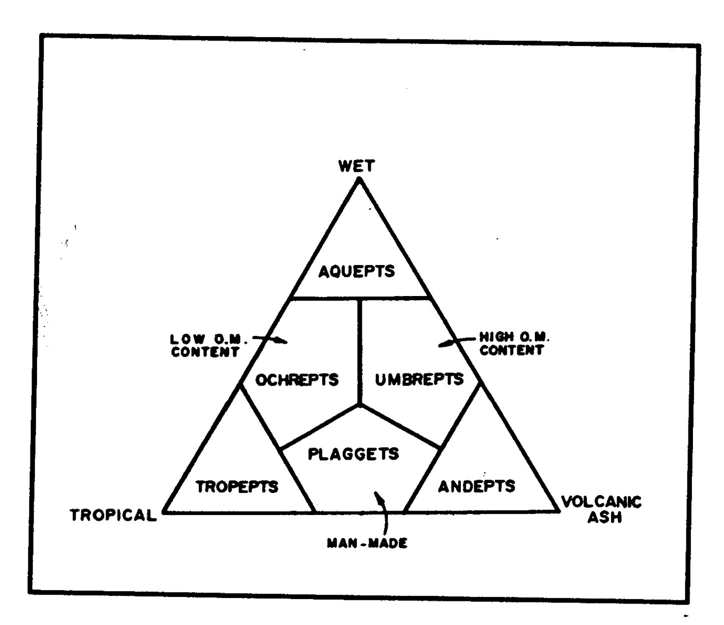
تحت رتبه Plaggepts

وهى الأراضى التى بها آفاق سطحيه من النوع Plaggen epipedon (هو أفق سطحى سمكه 50 cm أو أكثر تكون بفعل الأنسان نتيجة الأستعمال المستمر للأسمدة العضويه) .

تحت رتبه Tropepts

وهى الأراضى البنية المحمره الضعيفه التطور بالمناطق الأستوائيه والتى لا تحتوى على كميات ملموسه من الطين الأمورفى النشيط . وهذه الأراضى توجد عادة بالمناطق المنحدره وتنتشر فى كوبا وبورتريكو والبرازيل وجنوب أستراليا .

والشكل رقم (4-14) يوضح العلاقه بين أراضى تحت الرتب الواقعه داخل رتبه Inceptisols .



شكل (4-14) : العلاقه بين أراضى تحت الرتب الواقعه داخل رتبه Inceptisols (Buol *et al.*,1980)

رتبه الأراضى الجافه ARIDISOLS

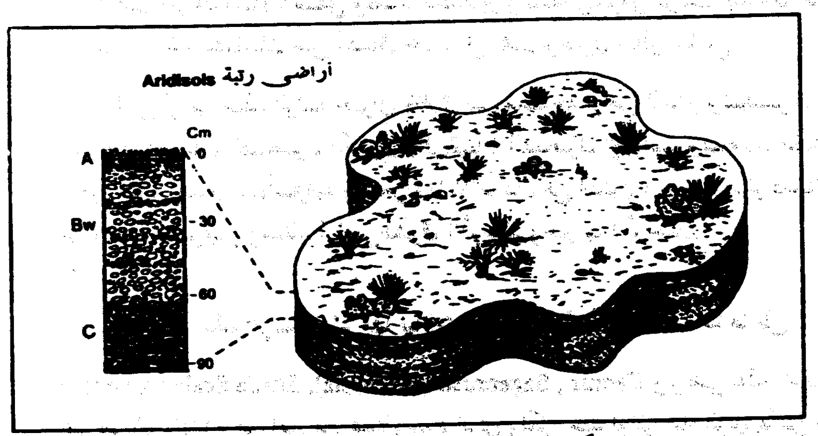
وتشمل الأراضى التى حدث لها تطور معنوى فى المناطق الجافه وتتميز بوجود أفق سطحى من النوع ocric أو anthropic (شكل 4-15) وقد تحتوى على واحد أو أكثر من الخواص التاليه :

١- أفق argillic أو natric ونظام رطوبى جاف aridic moisture regime .

٢- أفق ملحى salic ومشبعه بالماء عند عمق 1 متر من السطح لمدة شهر أو أكثر فى السنه .

٣- لاتحتوى على أفق argillic أو natric ولكن تحتوى واحد أو أكثر من الآفاق التاليه على مسافه متر واحد من السطح :

calcic , petrocalcic , gypsic , petrogypsic , cambic .



شكل (15-4) : أراضـى رتبـة Aridisols

وأهم المظاهر الشائعه بأراضى هذه الرتبه ما يلى :

(١) الحواف الصحراويه Desert Pavements

وهى عبارة عن وجود مساحات شاسعه من الأراضـى المستويه أو شبه المستويه المغطاه بطبقه متناثرة من الحصى والزلط والأحجار على السطح حيث أن تأثير تبادل عمليات التجفيف والترطيب يؤدى لتجمع هذه الطبقه السطحيه من الحصى والأحجار يؤدى الى رفع الأحجار لأعلى بفعل تمدد الهواء المحبوس تحتها عند إبتلال التربه .

(٢) الطلاء الصحراوى Desert Varnish

وهى ظاهرة تغليف أسطح الأحجار بسطح التربه بطبقه رقيقه سوداء من أكاسيد المنجنيز والحديد وهذه الطبقه تشبه الصبغه أو الطلاء .

(٣) تجمعات كربونات الكالسيوم

وتعتبر أهم مظاهر الأراضى الجافه حيث يتحرك بيكربونـات الكالسيوم مع ماء المطر الراشح لأسفل القطاع ويترسب فى صورة كربونات الكالسيوم عندما

يتوقف سريان الماء لأسفل وفقده بالتبخير والنتح وبمرور الوقت يتكون أفق كالسى غير متماسك على أعماق مختلفه فى مجال وصول المطر الراشح .

تمثل أراض هذه الرتبه حوالى 36% من مساحة أراض العالم وتنتشر فى الصحراء العربيه ، الصحراء الكبرى بأفريقيا ، الصحراء الإيرانيه وصحراء نيفادا الأمريكيه والصحراء الأستراليه وصحراء تاكلاماكان فى الصين ، صحراء تركستان فى الأتحاد السوفيتى ومعظم أراضى الشرق الأوسط وجنوب الأرجنتين .

وأراضى هذه الرتبه تنتشر بها نباتات قليله متفرقه أكثرها شيوعاً ما يلى :

Cactus , Sagebrush (Artemisia), Shade Scale (Atriplex) وأراضى هذه الرتبه غير صالحه للإنتاج الزراعى فى عدم وجود الرى ولكن عند توافر مياه الرى يمكن أن تصبح هذه الأراضى من أكثر أراضى العالم أنتاجيه وإن كانت تحتاج إلى إداره جيده لمنع تراكم الأملاح بها .

وتنقسم رتبه الأراضى الجافه على أساس وجود أفق الطين **Argillic horizon** إلى تحت رتبتين :

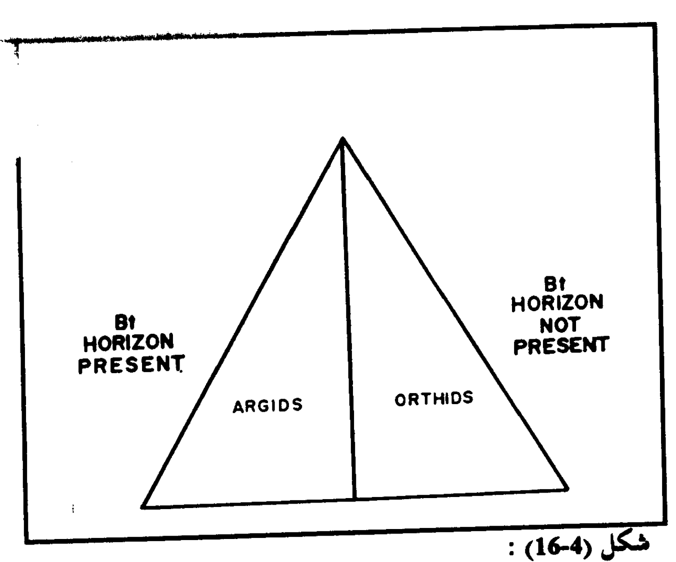
١- تحت رتبه Orthids

وهى الأراضى الجافه الخاليه من أفق الطين .

٢- تحت رتبه Argids

وهى الأراضى الجافه ذات الأفق الطينى **Argillic horizon** ومشتق من الكلمة اللاتينيه **Argilla** وتعنى **White Clay** .

ويوضح الشكل رقم (16-4) العلاقه بين تحت رتب الأراضى التابعه لرتبه **Aridisols**.



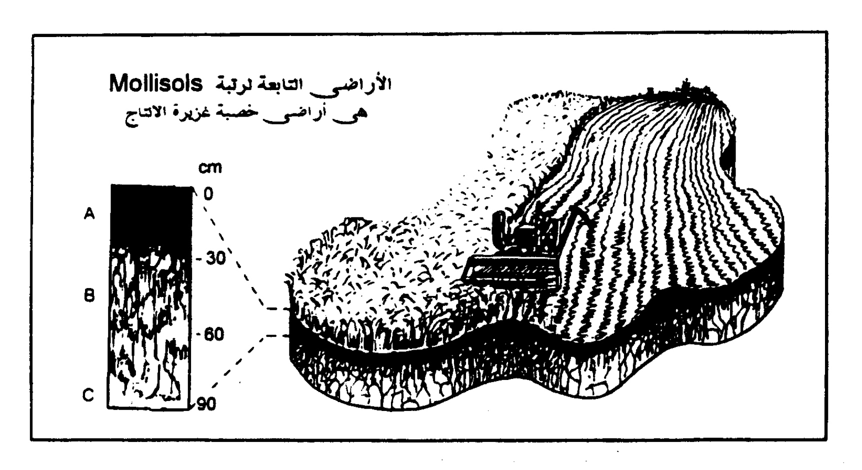
شكل (4-16) :
العلاقه بين تحت رتب الأراضى التابعه لرتبه Aridisols (Buol *et al.*, 1980)

رتبة الأراضى الداكنه للحشائش

Mollisols (dark soils of grassland)

وهى الأراضى التى تتميز بوجود أفـق سـطحى مـن النـوع molic (أفـق سميـك غامق تسود به الكاتيونات المسـببه للقاعديـه مثـل الكالسـيوم والمغنسـيوم) - شــكل (4-17) . ويتميز الأفق السطحى بالبناء الحبيبى النــاتج عـن وجـود المـادة العضويـه ، يمكن لهذه الأراضى أن تحتوى على أفق تحت سـطحى argillic أو natric أو albic أو cambic ويوضح الشكل رقم (4-18) خواص الرطوبـه الأرضيـه والحـرارة الأرضيـه لهذه الرتبه ، ولقد تطورت أراضى هذه الرتبه فـى وجـود الحشـائش كغطـاء نبـاتى . وتتواجد هذه الأراضى فى الولايات المتحدة الأمريكيه وكنـدا وروسـيا والأرجنتـين- حوالى 25% من أراضى أمريكا من النوع mollisols .

وتعتبر أراضى هذه الرتبه من الأراضى الخصبه والأكثر إنتاجيه فى العـالم وذلـك نتيجـة لإرتفـاع محتواهـا مـن المـادة العضويـه . فهـذه الأراضـى ذات إنتاجيه عاليــه ولاتحتاج إلى تسميد لإعطاء محصول عالى .



شكل (4-17) :
رتبة الأراضى الداكنة للحشائش Mollisols وهى أراضى خصبة ذات إنتاجية عالية .

وتنقسم أراضى هذه الرتبه إلى سبع تحت رتب التاليه :

(١) تحت رتبه Aquolls

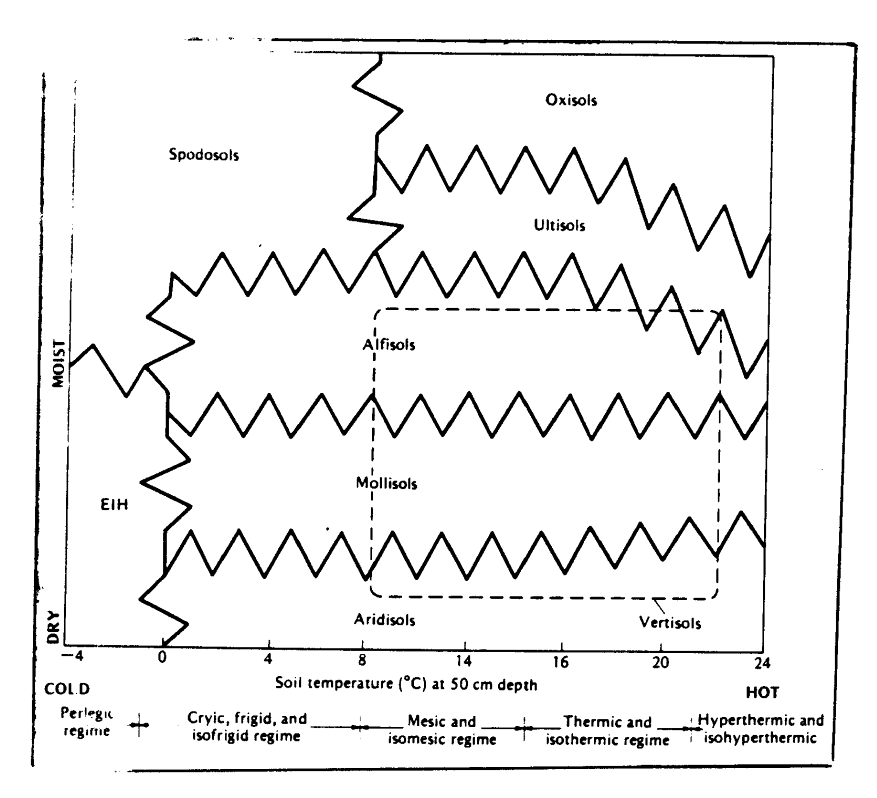
وهى الأراضى التى تحتوى على أفق سطحى Mollic ونظام رطوبى مائى لذا تظهر بها بعض التبقعات وتجمعات الحديد والمنجنيز وتحتوى على نسبه مرتفعه من الماده العضويه . وتعتبر هذه الأراضى خصبه عند إدخال نظام للصرف بها .

(٢) تحت رتبه Udolls

وهى أراضى ذات نظام رطوبى رطب ونظام حرارى معتدل وتتمتع بصرف طبيعى جزئى ولذلك لاتسود بها المظاهر المصاحبه للابتلال مثل التبقع . وتسود هذه الأراضى بمناطق حزام الذره بأمريكا corn belt والتى تمد العالم بحوالى 50% من احتياجاته من الذره .

(٣) تحت رتبه Ustolls

وتنتشر أراضى هذه التحت رتبه بالمناطق شبه الجافه Ustic أو الجافه Aridic وتحتوى على طبقات من الجير الناعم أو الجبس أسفل الأفق Canbic أو Argillic .



شكل (18-4) :
رسم تخطيطى يوضح نظم الحرارة الأرضية والرطوبة الأرضية التى تميز أراضى سبع رتب والأراضى التى تتبع رتب Entisols, Inceptisols, Histosols يمكن أن تتواجد تحت أى نظام حرارى أو رطوبى .

(٤) تحت رتبه Borolls

وهى الأراضى ذات النظام الحرارى البارد Frgid أو شديد البروده Cyric والنظام الرطوبى الرطب Udic أو شبه الجاف Ustic جيد الصرف ، والغطاء النباتى عباره عن حشائش وقد توجد بعض غابات التندرا .

(٥) تحت رتبه Xerolls

وهى أراضى منـاخ البحر المتوسـط الجـاف حـار صيفـاً والدافـئ ممطر شتاءاً وتحتوى على أفق Mollic فوق أفق Cambic أو Argillic .

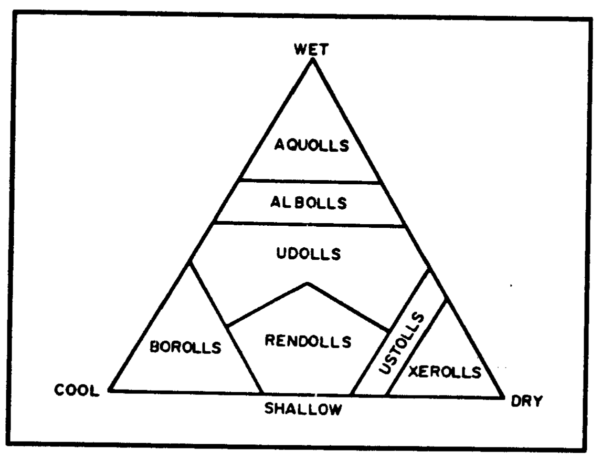
(٦) تحت رتبه Albols

وهى الأراضى التى تحتوى على أفق أبيض Albic يقع بين أفق سطحى Mollic وأفق طين Argillic وذات مستوى ماء أراضـى متذبـذب لذلـك تظهـر بهـا خـواص الابتلال كالتبقعات والتجمعات الصلبه للحديد والمنجنيز .

(٧) تحت رتبه Rendolls

وهـى أراضـى الغابـات الرطبـه ذات النظـام الرطوبـى الرطـب Udic والنظـــام الحرارى شديد البروده Cyric ويتميز بوجود أفق سطحى Mollic ســمكه أقـل مـن 50 cm ولايوجد بها آفاق طينيه أو كالسيه .

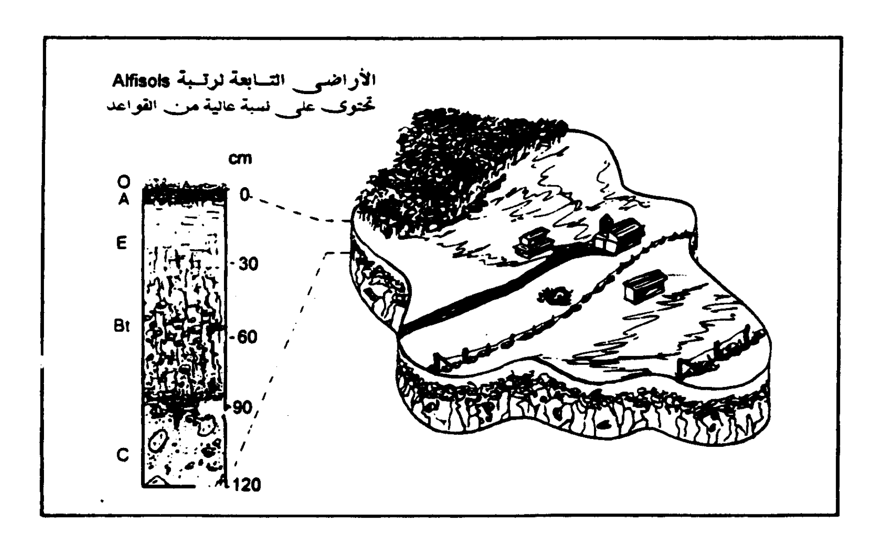
والشكل رقم (4-19) يوضح العلاقـه بـين تحـت رتـب الأراضـى التابعـه لرتبـه Mollisols .



شكل (4-19) :
العلاقه بين تحت رتب الأراضى التابعه لرتبه **Mollisols** **(Buol *et al.*, 1980)** .

رتبه الأراضى الغنيه بالقواعد Alfisols

وهى الأراضى التى تحتوى على آفاق سطحيه ذات لـون يـتراوح مـن الرمـادى إلى البنى وغالباً ما يكون من النوع Ochric وتتميز بارتفاع محتواها من القواعد كمـا تحتوى على أفق تجمع الطين الذى يتميز بنسبة تشبع بالقواعد تزيد عـن 35% ويطلـق على هذا الأفق Argillic أما إذا كان أفق تجمع الطين يتمـيز بنسـبة تشـبع بـالصوديوم أكبر من 15% وذو بناء منشورى أو عمودى فيطلق عليه Natric horizon – شـكل (20-4) .



شكل (20-4) : أراضى رتبة Alfisols الغنية بالقواعد

تتكون أراض هذه الرتبـة فـى المنـاطق البـارده أو الحـارة الرطبه وأغلـب هـذه الأراضى تطورت فى وجود الغابـات كغطـاء نبـاتى طبيعـى . ويتواجـد فـى جنـوب أوروبا وتمتد من ولايات البلطيق حتى غرب روسيا كما توجد مساحات كبيره منهـا فى سيبيريا شرق البرازيل ، النصف الجنوبى من أفريقيا، شـرق الهنـد وجنـوب شـرق آسيا والصين وفرنسا وجنوب شرق استراليا وانجلترا .

وبوجه عام فإن أراضى هذه الرتبه تعتبر خصبه نتيجه لتشبعها بـالقواعد وجـودة البناء .

وتنقسم أراضى هذه الرتبه إلى خمس تحت الرتبه التاليه :

١ . **تحت رتبه Noralks**

وهى الأراضى جيدة الصرف ذات نظام حرارى Frigid أو Cyric وأغلبهـا ذو نظـام رطوبى Udic ويتميز بإرتفاع درجة pH ونسبة التشبع بالقواعد .

٢ . **تحت رتبه Udfals**

وهى أراضى جيدة الصرف ذات نظام حرارى Mesic ونظام رطوبـى Udic . وهـذه الأراضى ذات قدرة إنتاجيه عاليه .

٣ . **تحت رتبه Aqualfs**

وهى الأراضى ذات النظام الرطوبى المائى وتنتشر بـالأراضى البحيريـة الجيريـه وتتميز بإرتفاع محتواها من المادة العضوية (< 6 %) .

٤ . **تحت رتبه Ustalfs**

وهى الأراض ذات النظـام الرطوبـى Ustic ونظـام حـرارى مـن النـوع Thermic أو Hyperthermic والغطاء النباتى السائد بهذه الأراضى من نوع السافانا Savannah .

٥ . **تحت رتبه Xeralfs**

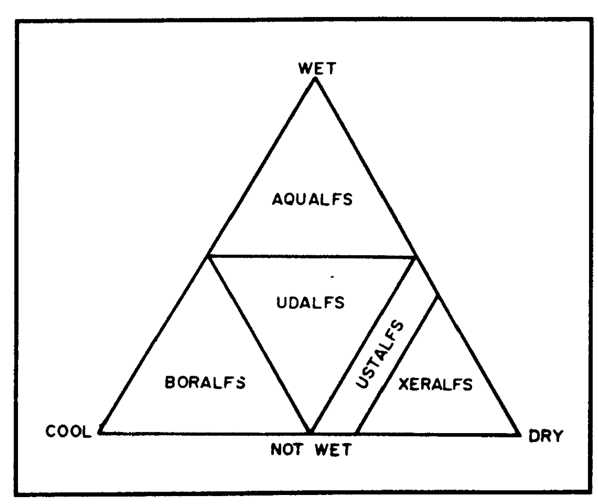
وهى أراضى مناخ البحر المتوسط وذات نظام رطوبى Xeric والغطاء النبـاتى السـائد بها عبارة عن حشائش حوليه وأعشاب شجيريه .

والشكل رقم (4-21) يوضح العلاقه بين تحت رتب أراضى Alfisols .

رتبه أراضى الغابات غير المشبعه بالقواعد Ultisols

هى تلك الأراضى التى تحتوى على أفق الطين Argillic ونسبه قليله من التشبع بالقواعد (نسبة التشبع بالقواعد أقل من 35%) ومتوسط درجة الحراره السنوى عنـد عمق 50 cm تكون أعلى من 8 °C ولقد تطـورت معظـم أراضـى هـذه الرتبـه تحـت الظـروف الرطبه والمناخ الدافئ أو الأسـتوائى . لذلك نجد أن الآفاق تحت السطحيه

لمعظم أراضى هذه الرتبه تكون ذات لـون أصفـر أو أحمـر دليـل علـى تجمـع أكاسـيد الحديد . كما أن هذه الأراضى تطـورت فـى وجـود الغابـات كنبـت طبيعـى - مـع إحتمال وجود السافانا Savannah كنبت طبيعى أيضاً .



شكل (4-21) : العلاقه بين تحت رتب أراضى Alfisols (Buol *et al.*, 1980) .

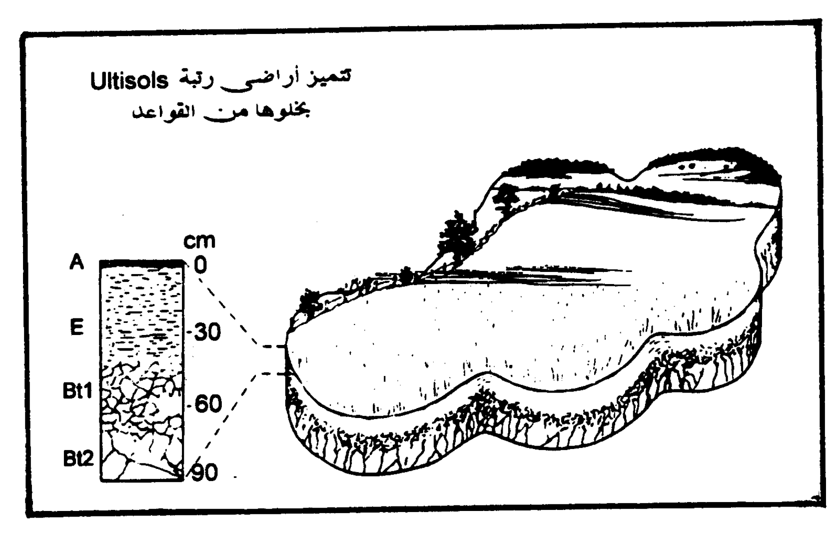
وعلى الرغم من أن أراضى هذه الرتبه لا تعتبر من الأراضى الخصبـه مثـل أراض Mollisols إلا أن درجة أستجابتها لـلإدارة السـليمه جيـدة . فعنـد إضافـة الكميـات المناسبه من الأسمدة فإن هذه الأراضى تصبح مـن الأراضـى ذات الإنتـاج العـالى التـى تنافس بقوة الأراضـى الزراعيـة مـن الدرجـة الأولى مثـل أراضـى رتبـه Mollisols أو أراضى رتبه Alfisols - شكل (4-22) .

وتنقسم أراضى هذه الرتبه إلى خمسة تحت رتب على أساس النظـام الرطوبـى للتربه وهى :

(١) تحت رتبه Aquults

وهى الأراضى ذات النظام الرطوبى المـائى Aquic حيث يتذبذب مستوى الماء

الأرضى ما بين قريب من السطح فى بعض الأوقات إلى عميق فى أوقات أخرى لذلك يلاحظ بهذه الأراضى وجود تبقعات وتجمعات من الحديد والمنجنيز .



شكل (4-22) : أراضى رتبة Ultisols غير المشبعة بالقواعد

(٢) تحت رتبه Humults

وهى الأراضى ذات الصرف الطبيعى التى تنتشر بالمناطق الشديدة الإنحدار تحت معدل أمطار مرتفع وتكون عادة غنيه بالدبال .

(٣) تحت رتبه Udults

وهى الأراضى ذات الصرف الطبيعى المحدود ومحتوى أقل من الدبال وتوجد بالمناطق الرطبه ذات النظام الرطوبى Udic وتنتشر فى جنوب آسيا وجنوب الصين .

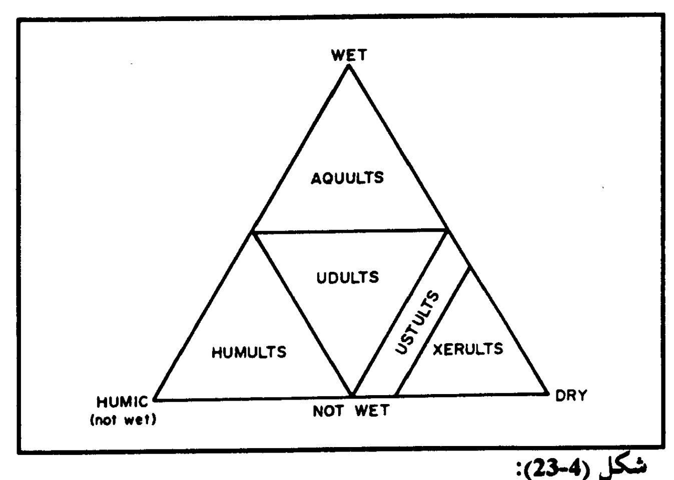
(٤) تحت رتبه Ustults

وهى الأراضى ذات النظام الرطوبى شبه الجاف وذات محتوى منخفض من المادة العضويه وصرف طبيعى جيد . وتمثل أراضى هذه التحت رتبه مساحات كبيرة فى أفريقيا والهند .

(٥) تحت رتبه Xerults

وهى الأراضى ذات النظام الرطوبى المعتدل Xeric ولذلك فهى تنتشر فى الأماكن ذات مناخ البحر المتوسط الملائم لنشاط عمليات التجويه مثل شمال وغرب كاليفورنيا .

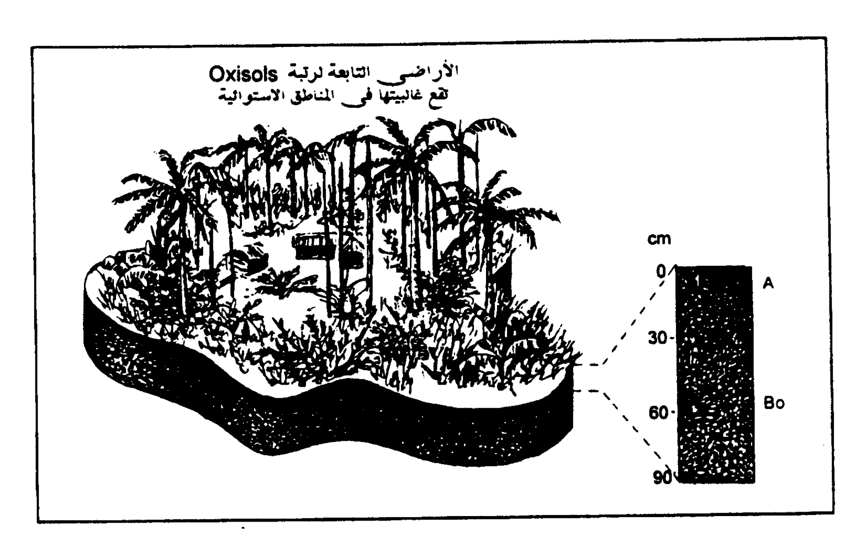
ويوضح الشكل (4-23) العلاقه بين أراضى تحت الرتبه التابعه لرتبه Ultisols .



شكل (4-23):
العلاقه بين أراضى تحت الرتب التابعه لرتبه Ultisols (Buol *et al.*, 1980).

رتبه الأراضى شديدة التجويه Oxisols

وهى الأراضى التى تعرضت لتجويه شديدة وتتميز بوجود أفق سطحى من النوع Ochric أو Umbric ووجود أفق تحت سطحى عميق من النوع Oxic الذى يحتوى على نسبه عاليه من حبيبات الطين التى يسود بها أكاسيد الحديد والألمونيوم. ونتيجة للتجويه والغسيل الشديدين يحدث إزاله للسليكا من المعادن السليكاتيه فى الأفق تحت السطحى ويتبقى بعض الكوارتز ومعادن الطين من النوع 1:1 وتسود أكاسيد الحديد والألمونيوم - شكل (4-24) .



شكل (4-24) : أراضى رتبة Oxisols شديدة التجويه

وتتكون أراضى هذه التربه تحت المناخ الأستوائى . ومساحات كبيرة من أراضى هذه الرتبه تنتشرفى أمريكا الجنوبيه وأفريقيا وتمثل أراضى هذه الرتبه حوالى 22% من مساحة أراضى العالم .

ومعظم أراضى هذه الرتبه مازال يوجد بها الغابات الأصليه الناميه بها طبيعياً والبعض الآخر تم إستخدامه فى الزراعه ، ولكن باستعمال طرق بدائيه وإن كان القليل من هذه الأراضى تم استخدام التكنولوجيا الحديثه بها . وبوجه عام فإن هذه الأراضى تحتاج إلى تسميد فوسفورى عالى كما أن نقص العناصر الصغرى بها يكون واضحاً . ولما كانت هذه الأراضى تقع فى مناطق تتميز بالأمطار الغزيرة فإن بقاء الغابات فى هذه الأراضى يعتبر أفضل الطرق للحفاظ على هذه الأراضى تحسباً للتعريه بالمياه . وتعتبر زراعة نخيل الزيت والمطاط فى هذه الأراضى من أفضل الطرق لإستغلال هذه الأراضى زراعياً .

وتنقسم أراضى هذه الرتبه إلى تحت رتب على أساس النظام الرطوبى والحرارى كما يلى :

تحت رتبه Aquox

وهى الأراضى التى توجد بالمنخفضات الضحله أو أسفل المنحدرات التى تستقبل مياه الرشح من المنحدرات أو أن هذه الأراضى تكون مبتله فى معظم أوقات السنه .

تحت رتبه Torrox

وهى الأراضى ذات النظام الرطوبى من النوع Torric (الجاف) لذلك فإن هذه الأرض تكون جافه جداً وتكون غير صالحة للإستزراع إلا تحت نظام الرى كما أن النظام الحرارى بها من النوع Isohyperthermic .

تحت رتبه Humox

وهى الأراضى المتكونه فى المناطق البارده الرطبه وتتميز بمحتوى عالى من المادة العضويه ولذا فإن لونها يكون داكناً وهذه الأراضى واسعه الإنتشار بجنوب أمريكا وأفريقيا .

تحت رتبه Orthox

وهى الأراضى المتكونه تحت المناخ الأستوائى الرطب المطير وهى أيضاً ذات محتوى مرتفع من المادة العضويه وهى واسعة الأنتشار فى الأمازون والكونغو .

تحت رتبه Ustox

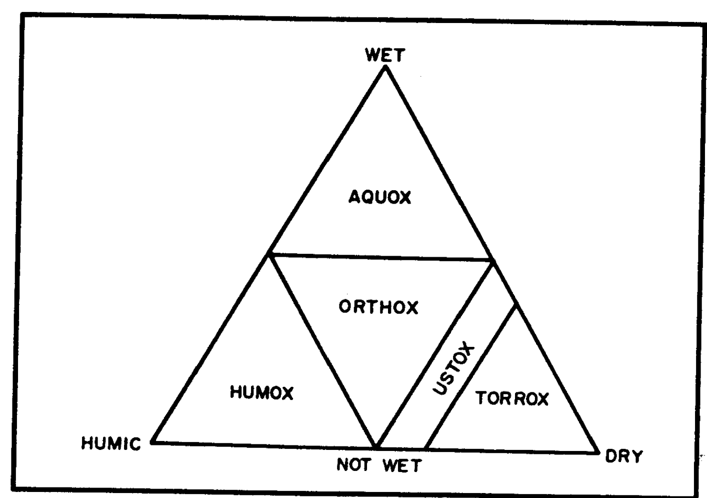
وهى الأراضى ذات النظام الرطوبى Ustic ويسود بها الغطاء النباتى من نوع السافانا Savannah والغابات متساقطة الأوراق .

ويوضح الشكل (4-25) العلاقه بين تحت رتب الأراضى التابعه لرتبه Oxisols.

رتبه أراضى الطين المتمدد الداكنه Vertisols

وهى الأراضى التى تتميز بإرتفاع محتواها (أكثر من 30%) من الطين المتمدد حتى عمق 1 متر وفى المواسم الجافه يحدث إنكماش لهذا الطين مما ينشأ عنه شقوق غائره (شكل 4-26) ونتيجة لوجود الشقوق فإن كميات كبيره من الأفق السطحى

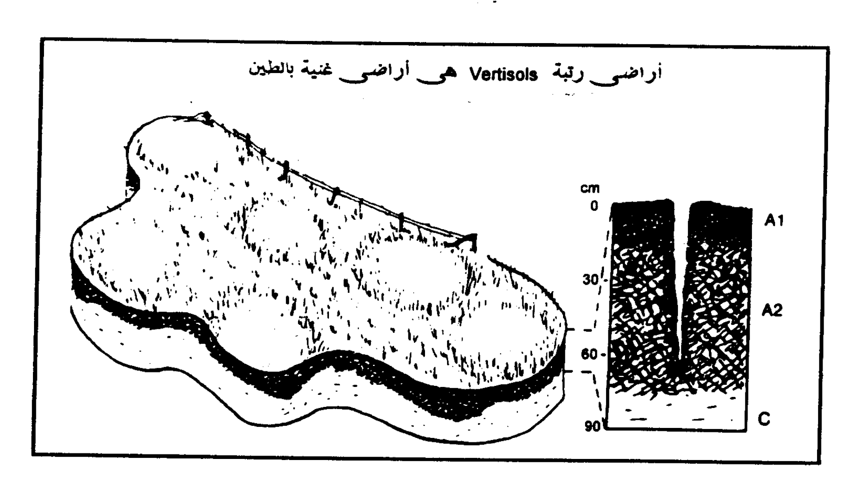
تملأ هذه الشقوق مما ينتج عنه عمليه قلب Inversion بطئ للتربه . وهذا هو السبب في أستخدام تعبير Invert لتسميه أراضى هذه الرتبه حيث أن تكرار العمليه السابقه ينشأ عنه عمليه تقليب للتربه .



شكل (25-4) : العلاقه بين تحت رتب الأراضى التابعه لرتبه **Oxisols**
. (Buol *et al.*,1980)

وتتواجد أراضى هـذه الرتبـه فـى المنـاخ تحـت الرطـب وتحـت الجـاف وتكـون متوسط حرارة التربه أعلى من 8 °C وتنتشر أراضى هذه الرتبه فى الولايـات المتحـدة الأمريكية (تكساس - شرق الميسيسبى - غرب الأباما) والهنـد وأثيوبيـا والسـودان وجنوب وشرق أستراليا .

ولأن أراضى هذه الرتبه تعتبر مـن الأراضـى الثقيلـه التـى تلتصـق عنـد الأبتـلال وتتصلب عند الجفاف فإن حرث هذه الأراضى يكون عمليه صعبه جداً وإن كان فى بعض المناطق مثل الهند والصين يمكن حرث هذه الأراضى بأستخدام الحيوانات بطيئـة الحركة فى الحرث ولذلك فإن زراعـه القطـن والـذره شـائع فـى هـذه الأراضـى وإن كانت الإنتاجيه ضعيفه ولقد أظهرت التجـارب حديثـا أن استغلال هـذه الأراضـى زراعياً ممكنـا بإستخدام سبل الإدارة الحديثه والتكنولوجيا المتقدمه .



شكل (4-26) : أراضـى رتبة Vertisols الغنية بالطين

وتنقسم هذه الرتبه إلى تحت الرتب التاليه :

تحت رتبه Torrets

وهى أراضى المناخ الجاف التى تتميز بوجود الشقوق بها طوال السنه لتعرضهـا لفترات إبتلال قصيره .

تحت رتبه Uderts

وهى أراضى المناخ الرطب وفيها تتفتح الشقوق وتغلق أكثر من مرة فـى السـنه وأغلب هذه الأراضى بها غطاء نباتى من الحشـائش أو غابـات أخشـاب ذات آفـاق سطحيه داكنه .

تحت رتبه Usterts

وهى الأراضى المتواجده بالمناطق ذات الصيف القليل الأمطـار والمرتفـع الحـراره وتظل الشقوق مفتوحه على الأقل لمدة 90 يوماً متتاليه .

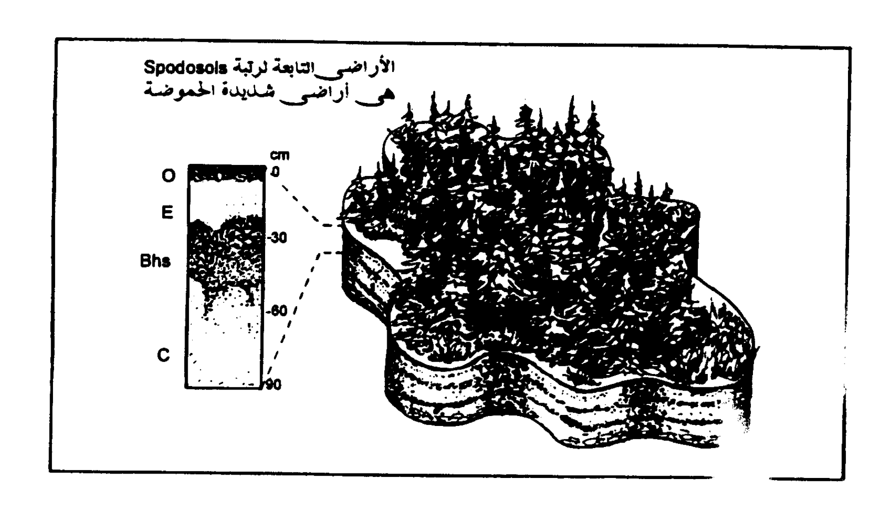
تحت رتبه Xererts

وهى الأراضى التى تتواجد بمناطق مناخ البحرالمتوسط والنظام الحرارى فيها من النوع Thermic or mesic .

رتبه الأراضى العضويه والأكاسيد Spodosols

وتشمل الأراضى المعدنيه التى تحتوى على أفق تحت سطحى من النوع Spodic (أفق تجمع الماده العضويه وأكاسيد الألومونيوم المصاحبه أو غير المصاحبه لأكاسيد الحديد). وهذا الأفق غالباً ما يتكون أسفل الأفق السطحى Albic الفاتح اللون .

وتتكون أراضى هذه الرتبه من مادة أصل حمضيه خشنه القوام معرضه للغسيل الدائم فى المناطق الرطبه تحت مناخ بارد . والغطاء النباتى الطبيعى السائد فى هذه الأراضى هو الغابات . ويبدو أن وجود الصنوبريات Pine trees قليله المحتوى فى الأيونات الفلزيه تعمل على تشجيع تطور هذه الأراضى حيث تتحلل مخلفات هذه الأشجار وتؤدى الى تكوين حموضة قوية . وفى وجود التأثير الحمضى تحدث عمليات تكوين التربه وتنتقل كل من المادة العضويه وأكاسيد الحديد والألومونيوم من الأجزاء العليا لأسفل القطاع وتترسب وينتج عن ذلك تكون أفق Spodic – شكل (4-27) .



شكل (4-27) : أراضى رتبة Spodosols الحمضية

وتنتشر أراضى هذه الرتبه فى شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وشمال أوروبا و سيبيريا والجزء الجنوبى من أمريكا الجنوبيه .

وبوجه عام فإن أراضى هذه الرتبه غير خصبه ولكن أستخدام التسميد فى هذه الأراضى يجعلها أراضى جيدة الأنتاج ومثال ذلك الأراضى التابعه لهذه الرتبه فى فلوريدا وميتشجان وتعتبر من الأراضى المنتجه للفواكه والخضروات .

وتنقسم هذه الرتبه إلى تحت الرتب التاليه :

تحت رتبه Orthods

وهى الأراضى ذات الصرف الطبيعى التى يحدث بها تجمع للحديد والألومونيوم والمادة العضويه بالأفق Spodic على ألا تزيد كمية الحديد على سته أمثال الكربون العضوى وتنتشر هذه الأراضى بشمال أمريكا وأوروبا . ونظامها الرطوبى Udic والنظام الحرارى Cyric أو Frigid .

تحت رتبه Aquods

وهى الأراضى ذات مستوى ماء أرضى مرتفع ويظهر أثار التشبع بالماء فى هذه الأراضى بوجود تبقعات أو طبقه متصلبه فى أفق Albic .

تحت رتبه Humods

وهى الأراضى المتكونه بالمرتفعات والمناطق البارده وتتميز بوجود أفق Spodic ذو محتوى عالٍ من المادة العضويه والألومونيوم ومحتوى منخفض من الحديد .

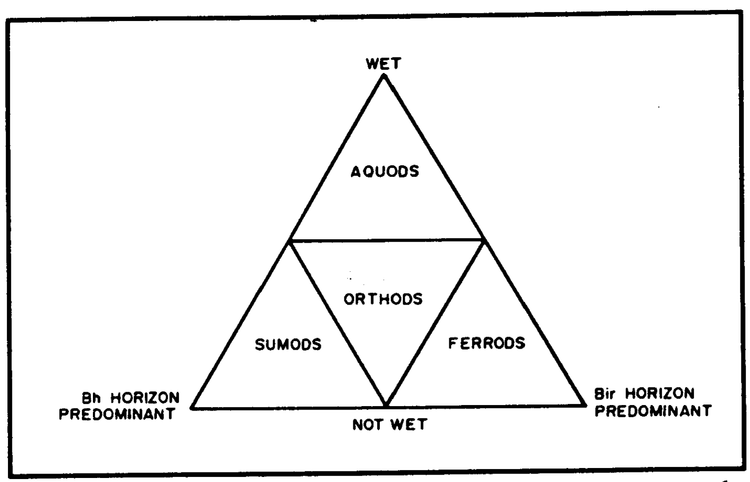
تحت رتبه Ferrods

وهى الأراضى التى تحتوى على نسبه من معادن الحديد الحرة تعادل سته أمثال الكربون العضوى أو أكثر وتوجد فى النظام الرطوبى المائى .

والشكل رقم (4-28) يوضح العلاقه بين تحت رتب أراضى رتبه Spodosols .

رتبه الأراضى العضويه Histosols

وتتميز أراضى هذه الرتبه بإرتفاع محتواها من الكربون العضوى (على الأقل 12%كربون عضوى) وفى حالة إرتفاع المحتوى الطينى بهذه الأراضى (50%) فإن الحد الأدنى لمحتوى هذه الأراضى من الكربون العضوى يجب ألا يقل عن 18% .



شكل (4-28) : العلاقه بين تحت رتب أراضى رتبه Spodosols (Buol *et al.*, 1973).

وتتكون هذه الرتبه تحت ظروف التشبع بالماء تحت أى نوع من أنـواع المنـاخ . ويلاحظ فى المناطق غير المستزرعه تراكم الماده العضويه على السطح وبإستزراع هذه الأراضى يحدث تحلل للمادة العضويه باستخدام الصرف الصناعى - شكل (4-29).

وأستخدام الصرف الصناعى فى هذه الأراضى يجعل منها أراضـى ذات أنتاجيـه زراعيه عاليه وخاصة بالنسبه لمحاصيل الخضر .

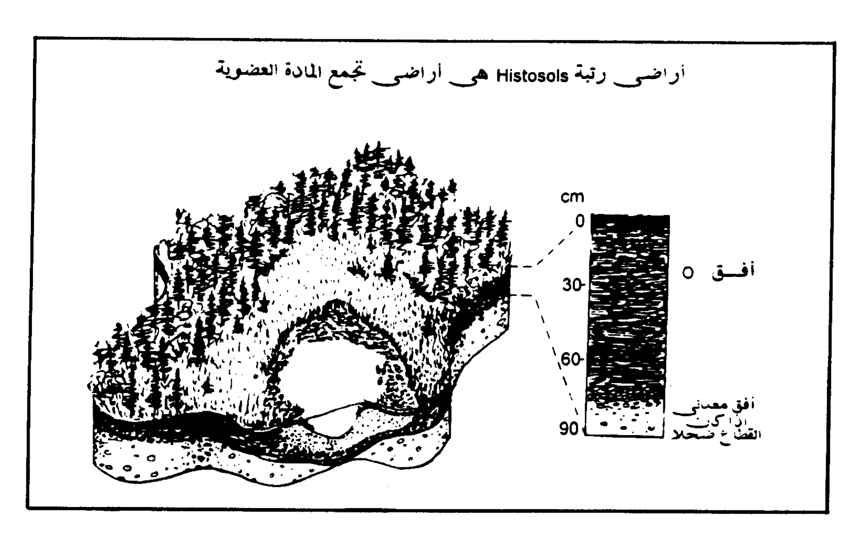
وتنقسم هذه الرتبه إلى تحت الرتب التاليه :

تحت رتبه Fibrists

تتكون أساساً من البقايا النباتيه قليلـه التحلـل والتـى مـازالت محتفظـة بتركيبهـا وعند حدوث تذبذب فى مستوى الماء الأرضى فإن المـادة العضويـه تتعـرض للتحلـل السريع .

تحت رتبه Hemists

هى الأراضى التى تحتوى على بقايا نباتيه متحلله بدرجه كبيرة والنظام الرطوبـى لهذه الأراضى من النوع aquic أو peraquic أى أن مستوى الماء الأرضى قريب جـداً من السطح أغلب السنه مالم تصرف صناعياً .



شكل (4-29) : أراضى رتبة Histosols الغنية بالمادة العضوية

تحت رتبه Sarpists

وهى الأراضى التى تحتوى على بقايا نباتيه متحلله تحلل كامل وتوجد بالمناطق التى يحدث بها تذبذب في مستوى الماء الأرضى .

تحت رتبه Folists

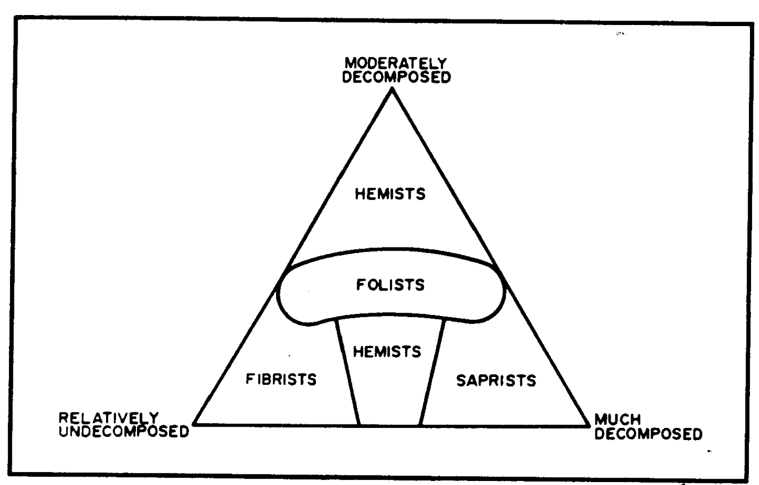
وهى الأراضى التى توجد بالمناطق ذات الرطوبه العاليه وعلى المرتفعات سواء بالمناطق الباردة أو الحارة وتتمتع بصرف طبيعى وتكون غير مشبعه بالماء .

ويوضح الشكل (4-30) العلاقه بين تحت رتب الأراضى التابعه لرتبه Histosols.

رتبه أراضى الرماد البركانى Andisols

وهى الأراضى التى تطورت نواتج البراكين ولم تتعرض للتجويه الشديدة نتيجة ترسبها فى الزمن الجيولوجى الحديث . وفى هذه الأراضى تسود معادن السليكات

الألوفانيه ومعقدات الدبال مع الألومونيوم فى الطبقـه العلويـه (upper 35 cm) مـن الأفق السطحى ولذلك تتميز هذه الطبقات العلويه بدكانـة اللـون وانخفـاض الكثافـه الظاهريه .



شكل (4-30) :
العلاقه بين تحت رتب الأراضى التابعه لرتبه Histosols (Buol *et al.*, 1980).

فى هذه الأراضى يحـدث تجويـه للمعـادن الموجـودة فـى مخلفـات الـبراكين فـى مكانها وينتج عن ذلك مواد أمورفيه ومعادن ذات درجه تبلور ضعيفه مثل الألوفان ، أموجوليت imogolite , ferrihydrite ولايحـدث إنتقـال هـذه الغرويـات إلى أسـفل القطاع .

وتنتشر هذه الأراضى فى المناطق المنتجه للقمح مثل Washington , Oregon , Idaho بالولايات المتحدة الأمريكيه كمـا توجـد فـى اليابـان وكولومبيـا وأندونيسـيا وإكوادور .

وتنقسم أراضى هذه الرتبه إلى تحت الرتب التالى :

١ – تحت رتبة Aquands

وهى الأراضى المشبعة بالماء لفترة كل عام (Aqua كلمة لاتينية وتعنى water).

٢- تحت رتبة Cryands

وهى الأراضى الباردة جداً (Kryos كلمة يونانية وتعنى ice cold) .

٣- تحت رتبة Perands

أراضى متجمدة بصورة دائمة (مشتقة من الكلمة اللاتينية Per وتعنى continually و gelare وتعنى to freeze) .

٤- تحت رتبة Torrands

أراضى ذات نظام رطوبى جاف Torric (من الكلمة اللاتينية torridus وتعنى hot and dry) .

٥- تحت رتبة Udands

أراضى ذات نظام رطوبى رطب Udic من الكلمة اللاتينية udus وتعنى humid).

٦- تحت رتبة Ustands

أراضى ذات نظام رطوبى جاف شتاءاً Ustic (من الكلمة اللاتينية ustus وتعنى burnt) .

٧- تحت رتبة Vitrands

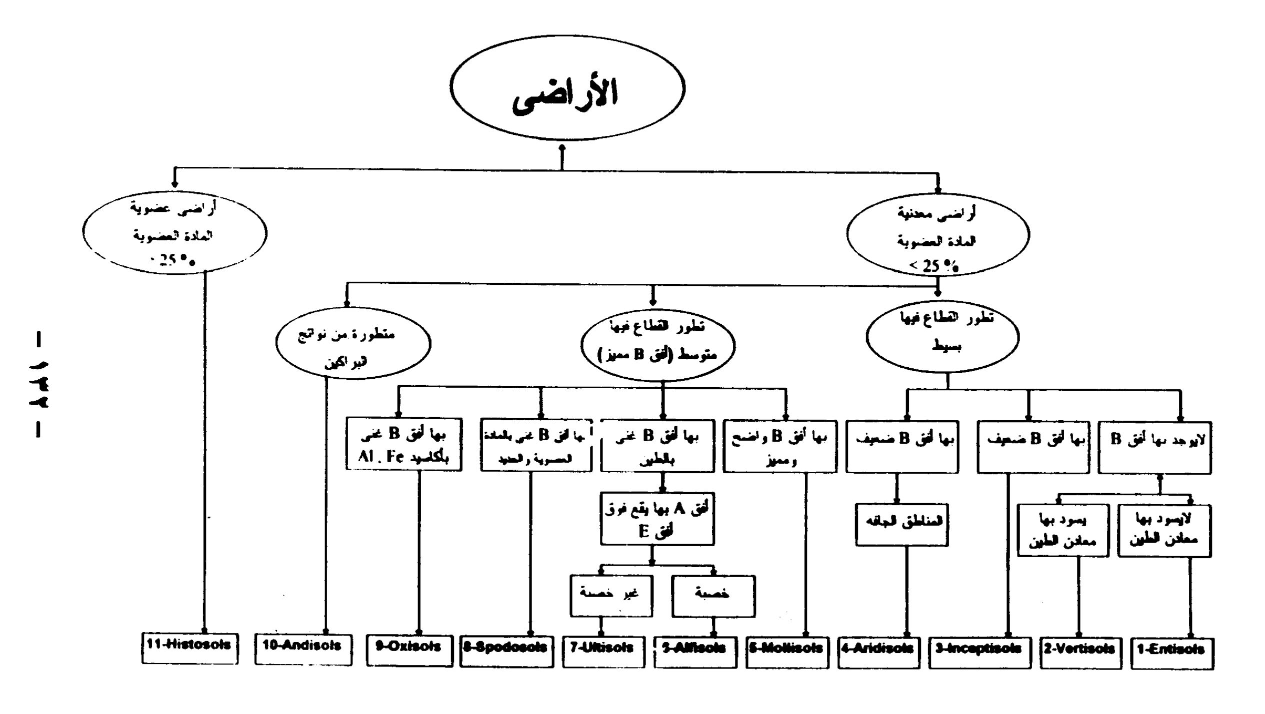
الأراضى التى تتميز بوجود زجاج بركانى (من الكلمة اللاتينية vitrum وتعنى glass) .

٨- تحت رتبة Xerands

أراضى ذات نظام رطوبى جاف صيفاً Xeric (من الكلمة اليونانية xeros وتعنى dry) .

دليل لرتب الأراضى Key To Soil Orders

يوضح الشكل رقم (4-31) دليل مبسط لرتب الأراضى فى التقسيم الأمريكى وهذا الدليل يوضح العلاقه بين رتب الأراضى المختلفه ، ويوضح الجدول رقم (4-4) مساحة الأراضى لكل رتبه من الرتب الأحدى عشر فى العالم .



شكل 4-31 : دليل التفرقة والتمييز بين الإحدى عشر رتبة فى التقسيم الأمريكى للأراضى

جدول (4-4) : مساحة أراضى الأحدى عشر رتبه فى العالم وأستخداماتها وأراضى هذه الرتب ودرجة خصوبتها .

Order	Land area (%)	Major land uses	Fertility
Alfisols	13.2	cropland, forest	High
Aridisols	18.8	Rangeland	Low
Entisols	8.3	cropland, Rangeland	Moderate
Histosols	0.9	Wetland, cropland	Moderate
Inceptisols	8.9	cropland, forest	Moderate to Low
Mollisols	8.6	cropland, Rangeland	High
Spodosols	4.3	forest	Low
Ultisols	5.6	forest	Low
Vertisols	1.8	cropland	High
Andisols	1.9	cropland, forest	Moderate
Oxisols	8.9	cropland, forest	Low
Miscellaneous land	17.8	Barren land	—

تحت الرتب Suborders

تقسم الإحدى عشر رتبة التى سبق وصفها إلى حوالى 47 تحت رتبة (سبق ذكرهم) . ويوضح الجدول رقم (4-5) الإحدى عشر رتبة وتحت الرتب التابعة لهم. ولقد تم تقسيم الرتب إلى تحت رتب suborders على أساس الخواص التى تعطى تجانس وراثى كبير بين الرتب وتحت الرتب . ومثال ذلك الأراضى التى تكونت تحت ظروف الإبتلال wet تم وضعها فى تحت رتب منفصلة (مثل Aquents , Aquepts , Aquerts) ، وكذلك تم وضع الأراضى الجافة فى تحت رتب منفصلة مثل (Ustalfs , Ustults) . وهذا النظام مرن لأنه يتيح الفرصة لتقسيم الأراضى إلى مجموعات خارج نظام التقسيم مثل (الأراضى المبتلة wet ، الأراضى الجافة dry) .

ولتقدير العلاقة بين أسماء تحت الرتب وخواص الأراضى يجب الرجوع إلى الجدول رقم (4-6) حيث يمكن التعرف على المقاطع الأولية لأسماء تحت الرتب ومدلولاتها .

جدول (4-5) : رتب الأراضى وتحت الرتب فى نظام التقسيم الأمريكى الحديث .

Order	Suborder	Order	Suborder	Order	Suborder
Entisols	Aquents	Alfisols	Aqualfs	Aridisols	Argids
	Arents		Boralfs		Orthids
	Fluvents		Udalfs		
	Oethents		Ustalfs	Spodosols	Aquods
	Pasmments		Xeralfs		Ferrods
					Humods
Inceptisols	Andepts[a]	Ultisols	Aquults		Orthods
	Aquepts		Humults		
	Ochrepts		Udults	Histosols	Fibrists
	Plaggepts		Ustults		Hemists
	Tropepts		Xerults		Saprists
	Umbrepts				Folists
		Oxisols	Aquox		
Mollisols	Albolls		Perox	andisols	aquands
	Borolls		Torrox		cryands
	Rendolls		Udox		torrands
	Udolls		Ustox		udands
	Udolls				ustands
	Ustolls				xerands
	Xerolls				vitrands
		Vertisols	Torrerts		
			Uderts		
			Usterts		
			Xererts		

المجموعات العظمى Great Groups

والمجموعات العظمى great groups هى عباره عن أقسام تتبع تحت الرتب suborderds ويتم التعرف عليها أساساً عن طريق وجود أوغياب الآفاق التشخيصيه وترتيب هذه الآفاق . ويوضح الجدول رقم (4-7) إختصارات الآفاق الموجوده فى المجموعات العظمى والمستخدمه فى تسميه الآفاق العظمى (Formative element) . ويلاحظ من الجدول أن المقاطع الأوليه لأسماء المجاميع العظمى تعبر عن آفاق سطحيه مثل ochric و umbric وتعبر عن آفاق تحت سطحيه مثل argillic و natric وأيضاً

تعبر عن طبقات موجوده مثل الطبقات الصلبه المستمره duripan و الطبقات المتماسكه سهله الكسر fragipan .

جدول (6-4) : المقاطع الأولية لأسماء تحت الرتب ومدلولاتها ومشتقاتها

Formative element	Derivation	Connotation of formative element
alb	L. albus, white	Presence of albic horizon (a bleached eluvial horizon)
and	Modified from Ando	Ando-like
aqu	L. aqua, water	Characteristics associated with wetness
ar	L. arare, to plow	Mixed horizons
arg	L. argilla, white clay	Presence of argillic horizon (a horizon with illuvial clay)
bor	Gk. boreas, northern	Cool
cry	Gk. kruos, icy cold	Cold
ferr	L. ferrum, iron	Presence of iron
fibr	L. fibra, fiber	Least decomposed stage
fluv	L. fluvious, river	Flood plains
fol	L. folia, leaf	Mass of leaves
hem	Gk. hemi, half	Intermediate stage of decom-position
hum	L. Humus, earth	Presence of organic matter
ochr	G.K. base .ochros, pale	Presence of ochric epipedon (a light surface)
orth	GK. orthos, true	The common ones
perud	Continuously humid	of year-round humid climates
plagg	Modified from Ger. plaggen, sod	Presence of plaggen epipedon
psamm	GK. psammos, sand	Sand textures
rend	Modified from Rendzina	Rendzina - like
sapr	GK. sapros, rotten	Most decomposed stage
torr	L. torridus, hot and dry	Usually dry
ud	L. udus, humid	of humid climates
umbr	L. umbra, shade	Presence of umbric epipedon (a dark surface)
ust	L. ustus, burnt	Of dry climates, usually hot in summer
xer	GK. xeros, dry	Annual dry season

ويجب تذكر أن أسماء المجـاميع العظمـى تتكـون مـن المقـاطع الأوليـه للآفـاق أو الطبقات المميزة لها يليها أسماء تحت الرتب التى تتبعها المجاميع العظمى .

مثال ذلك أراضى تحت الرتبه Ustoll التى يوجد بها أفـق natric تتبـع المجموعـه العظمى Natrustolls .

جدول (4-7) : مقاطع المجموعات الكبرى ومدلولاتها بالنظام الأمريكى

Formative element	*Connotation*	*Formative element*	*Connotation*
acr	Extreme weathereing	nadur	See *natr* and *dur*
agr	Agric horizon	natr	Natric horizon
alb	Albic horizon	ochr	Ochric epipedon
and	Ando-like	pale	Old development
arg	Argillic horizon	pell	Low chroma
bor	Cool	plac	Thin pan
calc	Calcic horizon	plagg	Plaggen horizon
camb	Cambic horizon	plinth	Plinthite
chrom	High chroma	psamm	Sand texture
cry	Cold	quartz	High quartz
dur	Duripan	rhod	Dark red colors
dystr,dys	Low base saturation	sal	Salic horizon
eutr,eu	High base saturation	sider	Free iron oxides
ferr	Iron	sombr	Dark horizon
fluv	Floodplain	sphagn	Sphagnum moss
frag	Fragipan	sulf	Sulfur
fragloss	See *frag* and *gloss*	torr	Usually dry
gibbs	Gibbsite	trop	Continually warm
gyps	Gypsic	ud	Humid climates
gloss	Tongued	umbr	Umbric epipedon
hal	Salty	ust	Dry climate, usually hot in summer
hapl	Minimum horizon		
hum	Humus	verm	Wormy, or mixed by animals
hydr	Water		
kand	Low activity day	vitr	Glass
luv,lu	Illuvial	xer	Annual dry season
med	Temperate climates		

ولقد تم التعرف حتى الآن على حوالى 230 مجموعه عظمى . ويوضح الجـدول رقم (4-8) بعض المجموعات العظمى المختاره والتى تتبع ثلاث رتب . ويلاحظ من الجدول أهمية التقسيم الأمريكى ونظام التسميه الفريد الذى يتبعه هذا التقسيم فنجد أن أسماء المجموعات العظمى يوضح أسم الرتبه وكذلك أسم تحت الرتبه التى تتبعها المجموعه العظمى . ولذلك نجد أن من أسم المجموعه العظمى Argiudolls يمكن أستنتاج أن هذه المجموعه تتبع رتبه Mollisols وتحت رتبه Udolls وتتميز بوجود أفق Argillic . ودراسة الجدولين (4-7 و 4-8) يوضح الخواص المميزه التى تفرق بين المجاميع العظمى داخل تحت الرتبه الواحدة .

جدول (4-8) : أمثله لأسماء المجموعات العظمى لبعض تحت الرتب التى تتبع الثلاث رتب Mollisol , Alfisol , Ultisol .

	Dominant feature of great group		
	Argillic horizon	*Minimum horizon development*	*Old land surfaces*
Mollisols			
1. Aquolls (wet)	Argi*aquolls*	Hapl*aquolls*	-----
2. Udolls (moist)	Argi*udolls*	Hapl*udolls*	Pale*udolls*
3. Ustolls (dry)	Argi*ustolls*	Hapl*ustolls*	Pale*utolls*
4. Xerolls(med.)[a]	Argi*xerolls*	Haplo*xerolls*	Pale*xerolls*
Alfisols			
1. Aqualfs(wet)	-----		Pale*udalfs*
2. Udalfs(moist)	Arg*udalfs*	Hapl*udalfs*	Pale*udalfs*
3. Ustalfs(dry)	-----	Hapl*ustalfs*	Pale*ustalfs*
4. Xeralfs (med.)[a]	-----	Haplo*xeralfs*	Pale*xeralfs*
Ultisols			
1. Aqults (wet)	-----	-----	Pale*aqults*
2. Udults (moist)	-----	Hapl*udults*	Pale*udults*
3. Ustults (dry)	-----	Hapl*ustults*	Pale*ustults*
4. Xerults (med.)[a]	-----	Haplo*xerults*	Pale*xerults*

[a] Med. = Mediterranean climate; distinct dry period in summer.

تحت المجموعات Subgroups

وتحت المجموعات Subgroups هى عبارة عن أقسام تتبع المجموعات العظمى great groups . ولقد تم التعرف حتى الآن على حوالى 1200 تحت مجموعه . ويتكون أسم تحت المجموعه بوضع إسم الصفه المميزه لها أمام أسم المجموعه العظمى وهى تعرف فقط فى اطار المجموعه العظمى وتنقسم الى ما يلى :

١- تحت المجموعات النموذجيه Typic subgroup

وهى تحت المجموعات التى تمثل المفهوم الرئيسى للمجموعه العظمى ويتم تسميتها بوضع Typic أما أسم المجموعه العظمى . فمثلاً تحت المجموعه Typic Hapludolls تمثل المفهوم الرئيسى للمجموعه العظمى Hapludolls .

٢- تحت المجموعات المتداخله أو الأنتقاليه Integrade subgroups (Transitional)

وتتميز بخاصيه معينه داخل اطار المجموعه العظمى ويوضح أسم الخاصيه قبل أسم المجموعه العظمى . فمثلاً أراضى المجموعه العظمى Hapludolls التى يكون بها الصرف محدود تمثل تحت المجموعة Aquic Hapludolls . أما الأراضى التى تتبع المجموعه العظمى Hapludolls والتى تتميز بنشاط مكثف للديدان الأرضيه فهى تمثل تحت المجموعه Vermic Hapludolls .

٣- تحت المجموعات المنحرفه Extragrade subgroups

وهى تمثل تحت المجموعات التى تتميز بخواص تنحرف عن اطار المجموعه العظمى وقد يكون لها صفات مشتركه مع رتب أخرى . فمثلاً تحت المجموعه Entic Hapludolls تتميز بخواص موجوده فى رتبه Entisols ولذلك يكتب المقطع Entic قبل اسم المجموعه العظمى .

ومفهوم تحت المجموعات Subgroups كما تم شرحه يوضح مرونه نظام التقسيم .

العائلات والسلاسل الأرضيه Soil Families and Series

العائلات Families

ويتم تقسيم أراضى تحت المجموعه إلى عائلات بناءاً على الخواص الهامه ذات التأثير المؤكد على نمو جذور النبات وهى تشمل الآتى :

١- التوزيع الحجمى للحبيبات ٢- التركيب المعدنى
٣- درجة الحرارة ٤- عمق التربه
٥- الأغلفه حول الحبيبات ٦- الكربونات
٧- درجة الأنحدار ٨- درجة التماسك
٩- الشقوق الدائمه

ويوضح الجدول (4-9) التقسيمات المختلفه بالنسبه للتوزيع الحجمى للحبيبات، التركيب المعدنى ودرجه حرارة التربه والتى تستخدم لتسميه العائلات داخل تحت المجموعه حيث يتكون إسم العائله من إسم تحت المجموعه مسبوقا ببعض الصفات الهامه والمؤثرة على نمو جذور النبات فمثلاً أراضى تحت المجموعه Typic Argiudoll التى تتميز بأن التوزيع الحجمى للحبيبات لها من النوع loamy ، التركيب المعدنى لها من النوع mixed جدول (4-9) ودرجة الحرارة فى التربه تكون بين 8-15°C أى من النوع mesic فهى تتبع العائله Typic Argiudolls loamy, mixed, mesic .

أما إذا كانت أراضى تحت المجموعه Typic cryorthod تتميز بقوام Sandy وبها نسبه عاليه من الكوارتز(Siliceous) ودرجة حرارة التربه تتميز بالبرودة (8 >) Frigid فهى تتبع العائله Family الآتيه : Typic Cryorthod Sandy, Siliceous, Frigid .

ولقد تم التعرف حتى الآن على حوالى 6600 عائله فى التقسيم الأمريكى الحديث Soil Taxonomy .

السلسلة الأرضيه Soil Series

تقسم العائلات الى سلاسل Series أى أن السلسله هى أدنى درجات التقسيم الأمريكى الحديث . والتفرقه بين السلاسل التى تتبع العائله الواحدة يعتمد على الأختلاف فى صفه أو أكثر من صفات أراضى العائله . أى أن السلاسل تعتمد على خواص القطاع وتقسيم العائله الى سلاسل يتطلب دراسة كامله لآفاق قطاع التربه مثل عدد الآفاق ودرجة ترتيبهم وسمك الآفاق والقوام والبناء واللون ومحتوى الماده

العضويه ودرجة الحموضه كما أن وجود طبقه صماء على مسافه معينه ووجود مناطق تجمع كربونات الكالسيوم والأختلاف فى لون الآفاق يكون عاملاً مساعداً فى التعرف على السلاسل وتمييزها.

جدول (4-9) : أمثلة للتوزيع الحجمى للحبيبات والتركيب المعدنى ودرجة حرارة التربه المستخدمه للتفرقه بين العائلات المختلفه .

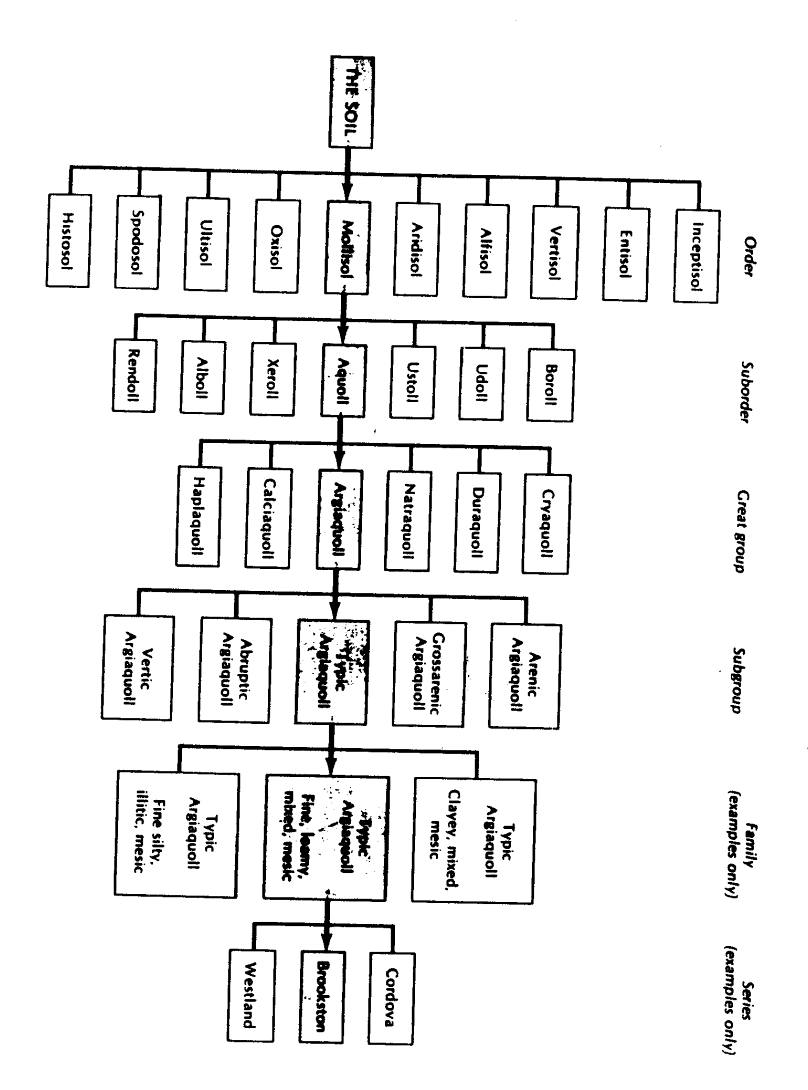
التوزيع الحجمى للحبيبات	التركيب المعدنى	رتبة درجة حرارة التربة Soil temp. class	متوسط درجة الحرارة السنوى (°C)
Fragmental	كربوناتية	Frigid	< 8
رملى	ميكاتية	Mesic	8 - 15
لومى	سليكاتية	Isomesic [b]	8 - 15
لومى دقيق	كاؤلينيت	Thermic	15 - 22
لومى هيكلى [a]	سميكتيت	Hypothermic	> 22
طينى	أكسيدية		
مختلط			

[a] هيكلى skeltal تعزى إلى وجود 35% قطع صخرية

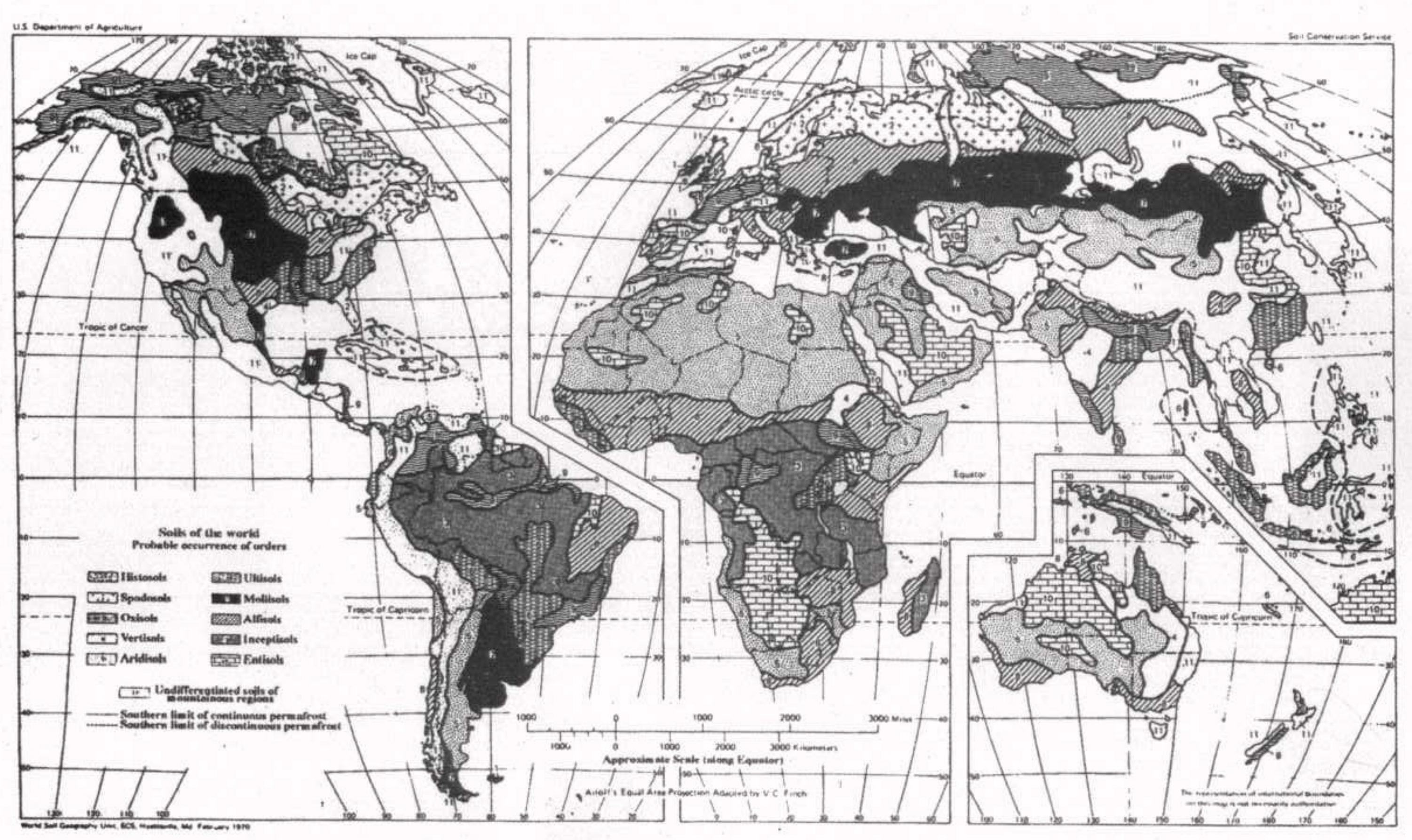
[b] "iso" تشير إلى الأراضى التى يكون فيها الفرق بين درجة الحرارة فى الصيف ودرجة الحرارة فى الشتاء أقل من 5°C بينما فى الرتب الأخرى يكون الفرق فى درجات الحرارة أعلى من 5°C .

وعادة ما تأخذ السلسله أسم مكان قريب من المنطقه التى وجدت بها لأول مرة فهو لايمثل معنى معيناً ولكنه غالباً ما يشير إلى الموقع الجغرافى للتربه . فمثلاً فى الولايات المتحدة كل سلسله تأخذ أسم مدينة أو قريه أو نهر أو مقاطعه مثل Ontario , Cecil . ولقد تم التعرف على حوالى 16,800 سلسله فى الولايات المتحدة الأمريكيه .

ويوضح الشكل (4-32) التقسيم الكامل لأراضى رتبه Mollisol ويلاحظ أسم السلسله Brookston التى تتبع هذه الرتبه والشكل أيضاً يوضح كيف أن التقسيم الأمريكى يمكن إستخدامه لبيان العلاقه بين التربه كمفهوم عام والسلسله الأرضيه Soil Series كمفهوم خاص .



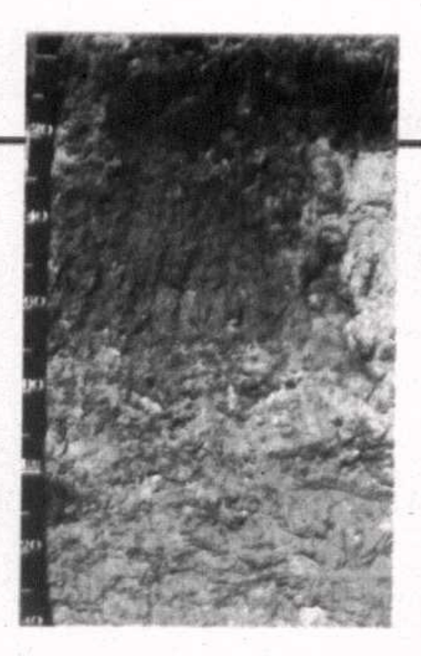
شكل (4-32) : رسم تخطيطى يوضح كيفيه تتابع الأراضى فى التقسيم الأمريكى فنجد أن السلسله الأرضيه **(Brookston)** تتبع الرتبه **Mollisols** ، تحت رتبه **Aquolls** ، المجموعه العظمى **Argiaquolls** ، تحت المجموعه **Typic Argiaquolls** والعائلة **Typic Argiaquolls, Fine Silty, illitic, mesic** .

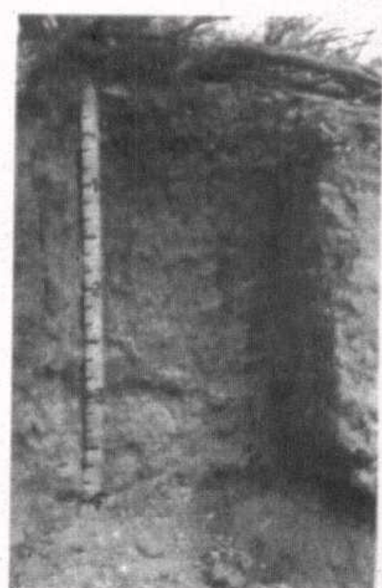


شكل (4-33): خريطة العالم موضحا بها توزيع رتب الأراضى (Soil Conservation Service, USDA)

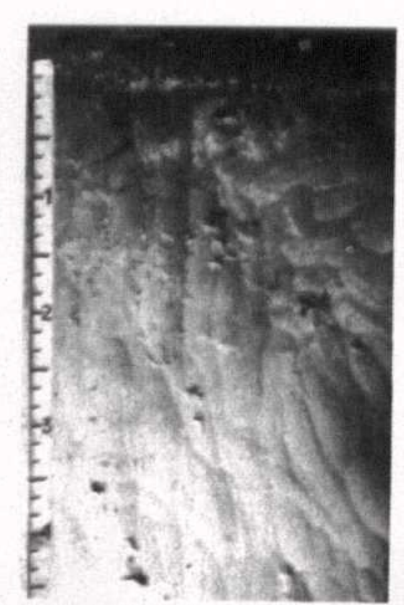
Plate 1

Photographs of profiles of ten of the soil orders in Soil Taxonomy.





2. Aridisols – a Typic Camborthid from western Nevada.



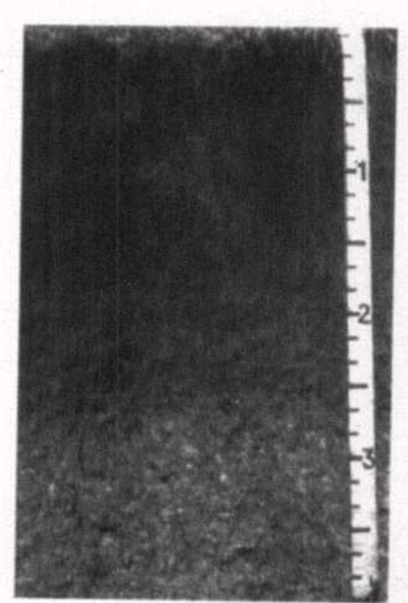
3. Entisols – a Typic Quartzipsamment from eastern Texas.



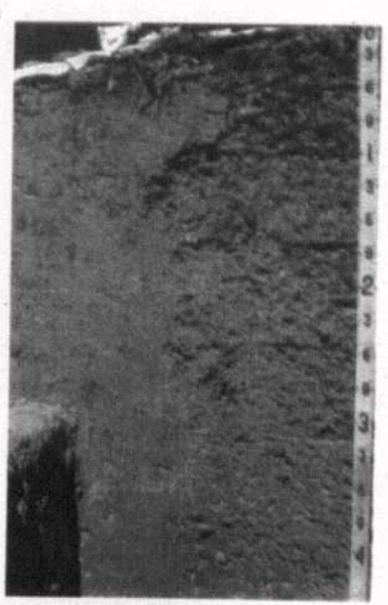
4.Histosols-aLimnic Medisaprist
from southerm Michigan.



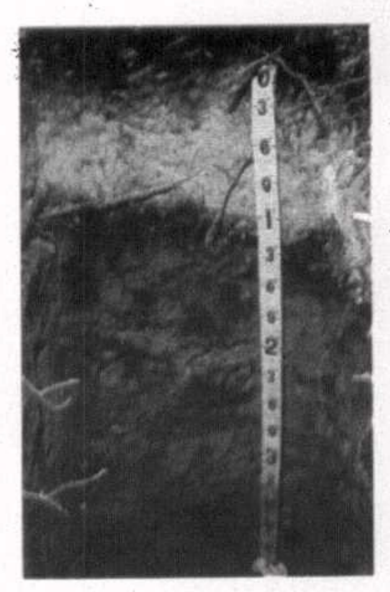
5.Inceptisols-a Typic Dystrochrept
from West Virginia.



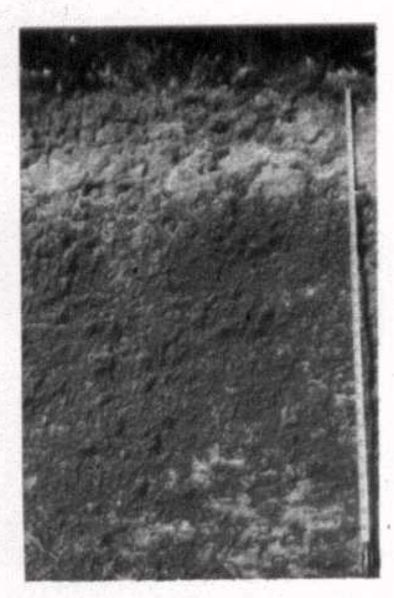
6.Mollisols - a Typic Hapludoll
from Rio de Janeiro,Brazil.



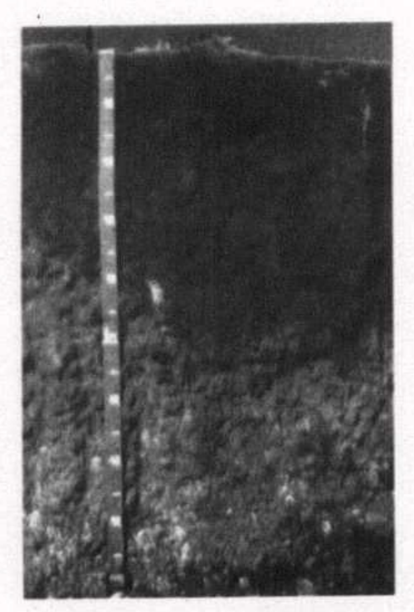
7.Oxisols - aTropeptic Haplorthox
from central Puerto Rico.



8.Spodosols-a Typic Haplorthod from northern New York.



9.Ultisols - aTypic Hapludult from western Arkansas.



10.Vertisols -a Typic Pellustert from Queensland, Australia.

مراجع الفصل الرابع

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Buol, S.W.; F.D. Hole, and R.J. Mc Craken (1980). Soil Genesis and Classi fication, Iowa State Univ. Press, Ames.

Dokuchaev, V.V. (1883). Russian Chernozem (Translated). US. Dept. Commerce, Springfield, Va.

Dudal, R. (1970). Key to the Soil Units for the Soil Map of the World : World Soil Resources Report FAO, Rome Italy. (AGL : SM / 70 / 2).

Harpstead, M.I.; F.D. Hole and W.F. Bennett (1988). Soil Science Simplified . Ames. Iowa State Univ. Press.

Soil Survey Staff. (1975). Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. (Washington, DC : USDA Soil Cons. Services).

SSSA. (1984). Soil Taxonomy, Achievements and Challenges, SSSA Spec. Publ. No. 14, Madison, Wisc.

Marbut, C.F. (1927). A Scheme for Soil Classification, 1st international. Cong Soil Sci. Proc. 4: 1-31.

Marbut, C.F. (1935). The Soils of United States, USDA. Atlas of American Agriculture, Washington. DC.

Marbut, C.F. (1951). Soils: their Genesis and classification, Soil Sci. Soc. Amer. Madison.

الفصل الخامس

الخواص الفيزيائية للأراضى

Soil Physical Properties

- قـوام الأرض
  - التحليل الحجمى للحبيبات - أنواع قوام التربة
- بنـاء الأرض
  - أنواع بناء الأرض - أهمية بناء الأرض - ثبات الحبيبات المركبة
- الكـثـافة الحقيقية للأراضى المعدنية
- الكـثـافة الظاهرية للأراضى المعدنية
  - مسامية الأرض - تماسك التربة



5

الخــواص الفيزيـائية للأراضــى

Soil Physical Properties

الأراضـى المعدنيـة هـى عبـارة عـن مخلـوط مـن الحبيبـات غـير العضويـة مختلفـة الأحجام والمواد العضوية المتحلله والماء والهواء . وعـادة مـا تكـون الحبيبـات الكبـيرة مغلفه بالطين والمواد الغرويه . ويتحدد نوع الأرض تبعاً لحجم الحبيبات غير العضويـة فيها فعند سيادة المواد الغروية فإن الأرض تكـون حصويـة gravelly أو رمليـه sandy أما عند سيادة المواد الغروية فإن الأرض تكون طينيـه clayey . وتعمـل مـادة الأرض العضوية كمـادة لاحمـه تربـط بـين الحبيبـات ممـا يـؤدى إلى تكويـن حبيبـات مركبـه aggregates .

تلعب نسب الأحجام المختلفة للحبيبات دوراً هاماً فى تحديد الخواص الفيزيائيـة للأراضى بما فى ذلك حركة الماء والهواء فيها لذلك فإن الخـواص الفيزيائيـة للأراضـى هامة جداً فى :

* تحديد صلاحية وأستخدام الأراضى كأساس لبنـاء المنـازل أو للطـرق أو للأنتـاج الزراعى .
* تحديد مدى إنجراف الأراضى soil erosion نتيجة لحركة الماء من وإلى الأرض .

وفى هذا الفصـل سـوف نتنـاول بالشـرح والتحليـل الخـواص الفيزيائيـة الهامـة للأراضـى مثـل قـوام الأرض soil texture وبنـاء الأرض soil structure والمســامية porosity ، والتماسك واللون لما لهذه الخواص من أهمية كبيرة فى تحديد قدرة الجـزء الصلب من الأرض على إمداد النبات بالمغذيات وكذلك إمـداد جـذور النبـات بالمـاء والهواء اللازمين لنشاط جذور النبات .

(١) قوام الأرض Soil Texture

ينتج من التجويه الكيميائية والفيزيائية للصخور والمعادن حبيبات مختلفة الأحجام تتراوح من حبيبات كبيرة مثل الأحجار والحصى والرمل والسلت إلى حبيات صغيرة جداً مثل حبيبات الطين .

لذلك فإن التوزيع الحجمى للحبيبات هو الذى يحدد مدى نعومة أو خشونة الأرض أو بمعنى آخر قوام الأرض ويعرف قوام التربه تحديداً بأنه نسب الرمل والسلت والطين فى الأرض .

ولدراسة قوام الأرض يجب فصل حبيبات التربه المختلفة إلى مجموعات تبعاً لأحجامهم وتقدير نسب الحجوم المختلفه للحبيبات فى الأرض وذلك بأستخدام التحليل الحجمى للحبيبات particle size analysis .

ويوجد العديد من التقسيمات الهدف منها تقسيم حبيبات الأرض الفرديه إلى مجاميع على أساس قطر الحبيبه الكرويه فقط بغض النظر عن التركيب الكيميائى والمعدنى للحبيبات . ويوضح الجدول رقم (5-1) أقطار وخواص المجاميع المختلفه من حبيبات الأرض الفرديه تبعاً لتقسيمين شائعين .

وبالنظر إلى الجدول يمكن تحديد المحاميع المختلفه لحبيبات الأرض الفرديه إلى ثلاث مجاميع رئيسيه هى :

أ - الرمل Sand

وتتراوح قطر حبيبات الرمل من 0.02 mm - 2 تبعاً للتقسيم الدولى . ويكون الرمل هيكل التربه ويعطيها خاصية الثبات عند أختلاط الرمل بالحبيبات الأصغر حجماً مثل السلت والطين . ونتيجة لأن حبيبات الرمل النقى لاتلتصق ببعضها فإنها تكون عرضه للإنجراف بسهوله بواسطة الماء والرياح . والمعدن السائد فى الرمل هو الكوارتز وذلك لأن الكوارتز أكثر معادن الصخور مقاومة لعوامل التجوية المختلفة . ونتيجة لسيادة معدن الكوارتز فى الرمل فإن قدرة الرمل على إمداد النبات بالعناصر الغذائية تكون ضعيفه جداً (شكل رقم 5-1) .

جدول (1-5) : خواص المجاميع المختلفه لحبيبات الأرض الفرديه .

المجموعه	القطر [(١)] mm	القطر [(٢)] mm	[(٣)] عدد الحبيبات فى الجرام	[(٣)] مساحة السطح فى واحد جرام cm^2
رمل خشن جداً	2.00-1.00	-	90	11
رمل خشن	1.00-0.50	2.00-0.20	720	23
رمل متوسط	0.50-0.25	-	5,700	45
رمل ناعم	0.25-0.10	0.20-0.02	46,000	91
رمل ناعم جداً	0.10-0.05	-	722,000	227
سلت	0.05-0.002	0.02-0.002	5,776,000	454
طين	أقل من 0.002	أقل من 0.002	90,260,853,000	8,000,000

(١) تقسيم وزارة الزراعة الأمريكية .

(٢) تقسيم الجمعيه الدوليه لعلوم الأراضى .

(٣) عدد الحبيبات ومساحة السطح للمجاميع المختلفه تم حسابها بأفتراض أن الحبيبات كرويه .

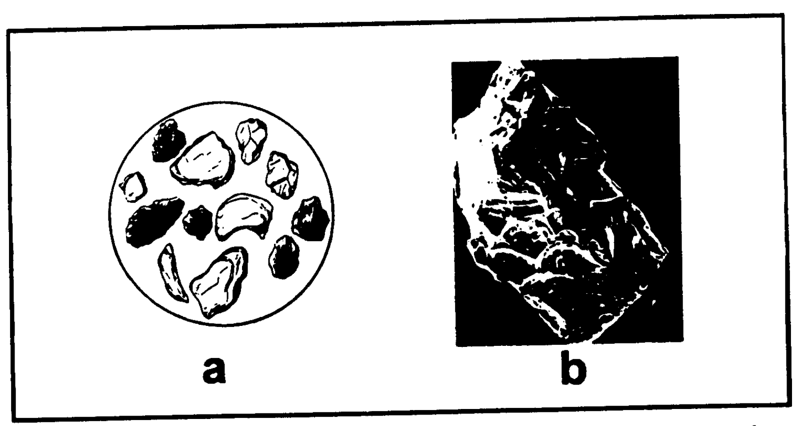
ب - السلت Silt

وهو يشبه الرمل إلى حد كبير إلا أنه أصغر حجماً حيث يتراوح قطر حبيبات السلت تبعاً للتقسيم الدولى من 0.02-0.002 وأيضاً يعتبر الكوارتز هو المعدن السائد فى السلت وعادة ما يوجد حول حبيبات السلت غشاء رقيق من الطين يكسبها بعض الخواص ولكن بدرجة ضعيفه مثل خاصية الألتصاق والإدمصاص .

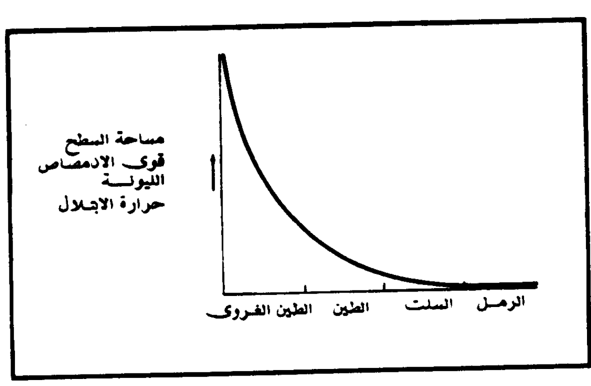
جـ - الطين Clay

هو حبيبات رقيقه جداً ذات قطر أقل من 0.002 mm وتختلف كلية فى تركيبها عن الرمل والسلت ونتيجة لصغر حجم حبيبات الطين فإن مساحة السطح بها كبيرة جداً بالمقارنة بحبيبات الرمل والسلت (جدول 1-5) . ولما كانت معظم الخواص الفيزيائية مثل الإلتصاق والتمدد وإدمصاص الماء والعناصر الغذائية تتوقف إلى حد

كبير على مساحة السطح فإن كبر مساحة سطح حبيبات الطين هو الذى يحدد خواص التربه (شكل 5-2) .



شكل رقم (5-1) :
حبيبات الرمل فى الأرض . ويلاحظ عدم أنتظام شكل وحجم الحبيبات الرمل (a) وسيادة معدن الكوارتز كما هو واضح فى صورة حبيبه الرمل تحت الميكروسكوب الإلكترونى (b) .



شكل(5-2) : يوضح العلاقة بين نعومة حبيبات الأرض (كبر مساحة السطح) والخواص الفيزيائية مثل الإدمصاص والتمدد وغيرها .

التحليل الحجمى للحبيبات Particle Size Analysis

يتم تقدير نسب المجاميع الرئيسيه لحبيبات الأرض الفرديه soil separates (رمل - سلت - طين) فى عينة أرض معملياً عن طريق ما يسمى بالتحليل الحجمى للحبيبات particle size analysis ويعتمد هذا التحليل على تفريق حبيبات الأرض المركبة فى صورة فردية ثم فصلها إلى المجاميع المختلفه عن طريق الترسيب .

ولتحضير عينة الأرض للتحليل الحجمى يجب تفريق الحبيبات المركبة إلى حبيبات فرديه عن طريق التخلص من المواد اللاحمة سواء كانت مادة عضوية أو كربونات كالسيوم أو أكاسيد حديد . يتم التخلص من المادة العضوية وذلك بالأكسدة بواسطة فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 وأما كربونات الكالسيوم فيتم التخلص منها بواسطة حمض الهيدروكلوريك HCl كما يتم التخلص من أكاسيد الحديد بواسطة Na-dithionite-citrate أيضاً يمكن استخدام مادة ذات طبيعه مفرقه مثل هكساميتا فوسفات الصوديوم hexameta phosphate-Na مع الرج لتفرقة وتفكيك حبيبات الطين .وتعمل المادة المفرقه على إحلال الصوديوم محل الكاتيونات الثنائية والثلاثية على أسطح الحبيبات وبالتالى يعمل الصوديوم على تفريق الحبيبات . وعدم إتمام التفريق يؤدى إلى نتائج مضللة حيث تزداد نسبة الحبيبات الكبيرة (الرمل والسلت) وتقل نسبة الحبيبات الصغيرة (الطين) .

بعد تمام عملية التفريق تفصل حبيبات الأرض الخشنة بواسطة مجموعة من المناخل ذات فتحات مختلفة الأقطار تتراوح من 0.05 mm - 2 وكل منخل يحجز فوقه الحبيبات ذات الأقطار الأكبر من قطر ثقوبه وأصغر من قطر المنخل الذى يعلوه وبتقدير وزن ما يوجد فوق كل منخل يمكن حساب هذا المكون كنسبة مئوية من كتلة العينة الجافه . أما الحبيبات ذات الأقطار الأصغر من ذلك فيتم فصلها عن طريق الترسيب على أساس أن الحبيبات الكبيرة تترسب بسرعة أكبر من الحبيبات الأصغر وهو ما يعرف بقانون ستوكس Stokes' Law الذى يمكن التعبير عنه بطريقة مبسطة كما يلى :

$$V = KD^2$$

حيث :

V - سرعة ترسيب الحبيبات فى الماء

K - ثابت يعتمد على درجة حرارة الماء وكثافة حبيبات التربه

D - قطر حبيبه التربه

وتبعاً لقانون ستوكس فإن سرعة سقوط حبيبه كرويه فى معلق أو وسط مائى يتناسب طردياً مع مربع القطر وأن حبيبات الأرض الصلبه كبيرة الحجم إذا ما وجدت فى وسط مائى فإنها تترسب تحت تأثير الجاذبية الأرضية بسرعة أكبر من الحبيبات صغيرة الحجم . ويجدر الإشارة هنا إلى أن قانون ستوكس لايمكن أستخدامه للتفرقه بين أحجام حبيبات الرمل المختلفه ولكن هذا يتم بواسطة المناخل كما تم ذكره سابقاً .

يتم تقدير النسب المئويه لحبيبات السلت والطين بأستخدام طريقه تطبيقيه سريعه هى طريقه الهيدرومتر hydrometer method كما يلى :

١- إضافة مادة مفرقه (Soduim polyphosphate) إلى عينة أرض جافة هوائياً (عادة خمسون جراماً) وتركها حوالى 12 ساعه .

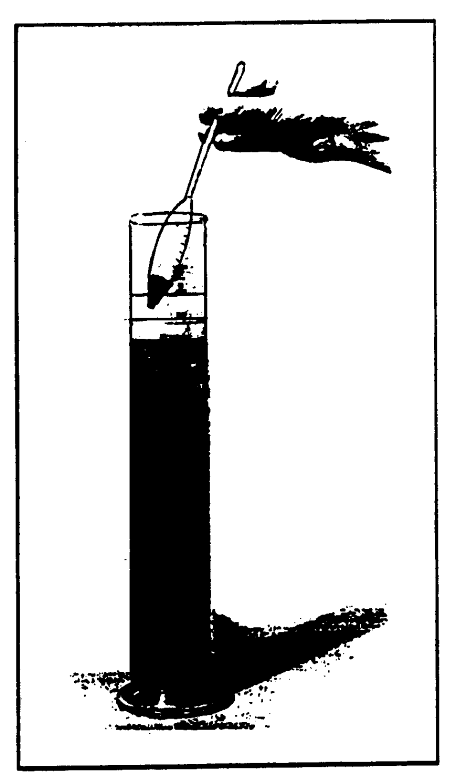
٢- ينقل معلق التربه والماء إلى كوب معدنى وتخلط محتوياته بواسطة خلاط كهربائى electric mixer لمدة دقائق وذلك لضمان تفريق حبيبات الرمل والسلت والطين. ثم ينقل المعلق إلى مخبار مدرج ويضاف الماء المقطر لتكمله حجم المعلق إلى حجم معلوم .

٣- تبعاً لقانون ستوكس فإن الحبيبات ترسب فى الماء بسرعة تتناسب طردياً مع مربع قطر الحبيبه. ويستخدم مقلب يدوى لنشرحبيبات التربه بطريقة متجانسة فى الماء ويسجل الوقت ثم يتم وضع الهيدرومتر بحرص فى المعلق وتؤخذ قراءة الهيدرومتر بعد 40 ثانية وبعد 8 ساعات (شكل رقم 5-3) .

٤- قراءة الهيدرومتر عند زمن 40 ثانية تحدد عدد جرامات السلت والطين فى المعلق لأن الرمل يرسب بعد 40 ثانية .

٥- يرسب السلت بعد 8 ساعات لذلك فإن قراءة الهيدرومتر بعد 8 ساعات تحدد عدد جرامات الطين فى العينة .

وحساب نسب الرمل والطين والسلت فى العينة بأستخدام طريقه الهيدرومتر يتم كما فى المثال التالى :



شكل (3-5) : الهيدرومتر

مثـــال : إحسب النسب المئويه لــلرمل والسـلت والطـين فـى عينـة أرض إذا علمت أن قراءة الهيدرومتر عند زمن 40 ثانية = 30 وقراءة الهيدرومـــتر عنـد زمـن 8 ساعات = 12 بأفـتراض أن وزن عينـة الأرض المسـتخدمة فــى التحليـل الحجمـى للحبيبات هو 50 جرام.

الحـــل :

$$\text{٪ للرمل} = \frac{\text{وزن العينة} - \text{قراءة الهيدرومتر عند زمن 40 ثانية}}{\text{وزن العينة}} \times 100$$

$$\% \text{ sand} = \frac{50g - 30g}{50g} \times 100 = 40\ \%$$

$$\text{٪ للطين} = \frac{\text{قراءة الهيدرومتر عند زمن 8 ساعات}}{\text{وزن العينة}} \times 100$$

$$\% \text{ Clay} = \frac{12g}{50g} \times 100 = 24\ \%$$

$$\% \text{ Silt} = 100\ \% - (40\ \% + 24\ \%) = 36\ \%$$

بعد أخذ قراءات الهيدرومتر يمكن تصفيه الماء من المعلق للحصول على الرمل وبعد تجففه تستخدم مجموعه من المناخل ذات أقطار مختلفة لفصل مجاميع الرمل المختلفه كما فى جدول (5-1) .

قانون ستوكس Stokes' Law

فصل الحبيبات أو قياس الكثافه عند عمق معين فى معلق من التربه فى الماء يتطلب معرفة معدلات ترسيب الحبيبات مختلفة الأحجام . ويفترض قانون ستوكس أن الحبيبات كرويه وتترسب فى وسط أنتشار سائل له كثافه ولزوجه معينه وأن هناك إتزان بين قوى الجاذبية الأرضيه إلى أسفل وقوى المقاومة لأعلى وهى قوة رفع السائل لأعلى (قوة الطفو) وقوة المقاومة الناشئة عن اللزوجه .

$$V = \frac{D^2(\rho_p - \rho_w)g}{18\eta}$$

حيث :

V - سرعة سقوط الحبيبه (سم / ث)

g - عجلة الجاذبية الأرضية ($980\ cm/s^2$)

D - قطر الحبيبة cm ($D^2 = 4r^2$)

ρ_p - كثافة الحبيبه ($2.6\ g/cm^3$)

ρ_w- كثافة المحلول g/cm^2 (كثافة الماء $1.0\ g/cm^3$)

η - لزوجة المحلول (g/cm-s) وهى حوالى 0.010 poise عند 20°C، 0.008 عند 30°C (one poise = 1g/cm-s) .

ويمكن التعبير عن الكثافه ، الجاذبيه واللزوجه بثابت واحد هو k وبذلك يصبح القانون :

$$V = kD^2 = 8711\ D^2$$

أى أن سرعة سقوط الحبيبه تتناسب طردياً مع مربع قطر الحبيبه ويجب ملاحظة أن أستخدام هذا القانون فى حساب سرعة سقوط حبيبات التربه يكون بصورة تقريبيه لأن حبيبات التربه غير كرويه .

مثال للحسابات :

بأستخدام القيمة $8711D^2$ كسرعه لسقوط الحبيبات المعدنيه فى الماء عند 20°C فإن معدلات سقوط حبيبات التربه المختلفة يمكن حسابها كما يلى :

قطر حبيبه الرمل ذات قطر 0.05 cm = 0.5 mm

$$V = 8711\ D^2 = 8711(0.05\ cm)^2 = 21.8\ cm/s$$

وبالمثل

سرعة سقوط حبيبه الرمل الناعم ذات قطر 0.20 mm = 3.5 cm/s

سرعة سقوط حبيبه السلت ذات قطر 0.01 mm = 0.0087 cm/s = 0.52 cm/min

سرعة سقوط حبيبه الرمل ذات قطر 0.002 mm = 0.021 cm/min = 1.26 cm/hr

سرعة سقوط حبيبه الرمل ذات قطر 0.0002 mm = 0.0000035 cm/s

= 0.30 cm/day

أنواع قوام التربه :

لتحديد نوع قوام التربه تم التعرف على ثلاث مجموعات رئيسيه لقوام التربه هى الرمل Sand ، الطين Clay ، اللوم Loams ويندرج تحت هذه المجموعات الرئيسيه عدة أنواع لقوام التربه كما هو موضح فى جدول رقم (5-2) .

مجموعة الرمل Sands :

وتشمل مجموعة الرمل الأراضى التى تحتوى على 70% فأكثر حبيبات رمل فرديه، 15% أو أقل حبيبات طين من وزن الجزء الصلب وتحت هذه المجموعه تم التعرف على نوعين من قوام التربه هما قوام رملى Sand ، قوام رملى لومى Loamy Sand وأراضى هذه المجموعة سهلة الحرث جيدة التهويه ذات سطح نوعى صغير ، سريعة الإبتلال وقليلة الاحتفاظ بالماء .

مجموعة الطين Clays :

ويندرج تحت هذه المجموعة الأراضى التى تحتوى على % 40 فأكثر حبيبات طين فرديه Clay من وزن الجزء الصلب ولذلك فإن أراضى هذه المجموعه يسود فيها صفات الطين . وأنواع قوام التربه التى تم التعرف عليها تحت هذه المجموعه هى :

قوام طينى Clay ، Sandy Clay ، Silty Clay وأراضى هذه المجموعة (القوام الناعم) ذات سطح نوعى كبير، بطيئة الابتلال ذات قدره عاليه على الإحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية وصعبة الحرث .

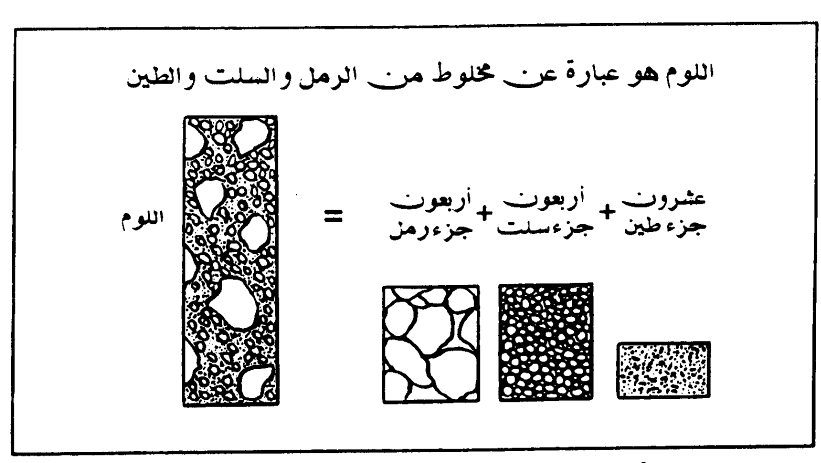
مجموعة اللوم Loams :

وتعتبرهذه المجموعة من أكثر المجموعات تعقيداً حيث تحتوى على العديد من أنواع قوام التربه. ويعرف اللوم loam بأنه مخلوط حبيبات الرمل والسلت والطين الذى تظهر فيه خواص هذه المكونات الثلاثة بدرجه متساوية (شكل 5-4) .

وأغلب الأراضى الهامه فى الإنتاج الزراعى تكون من النوع اللومى loam وقد تم التعرف على العديد من أنواع قوام التربه التى تندرج تحت هذه المجموعه ويتم تسميتها تبعاً لنسب الرمل والسلت والطين فمثلاً الأرض اللوميه التى يكون فيها الرمل هو المكون السائد يكون قوامها sandy loam وهكذا .. ويندرج تحت هذه المجموعه أنواع القوام التاليه :

Sandy loam, loam, silt loam, silt,
Sandy clay loam, silty clay loam, clay loam.

وأراضى مجموعة اللوم تعد أفضل من الرملية من حيث أحتفاظها بالماء والعناصر الغذائية ، أفضل من الطينيه من حيث التهويه وسهولة الحرث والصرف .



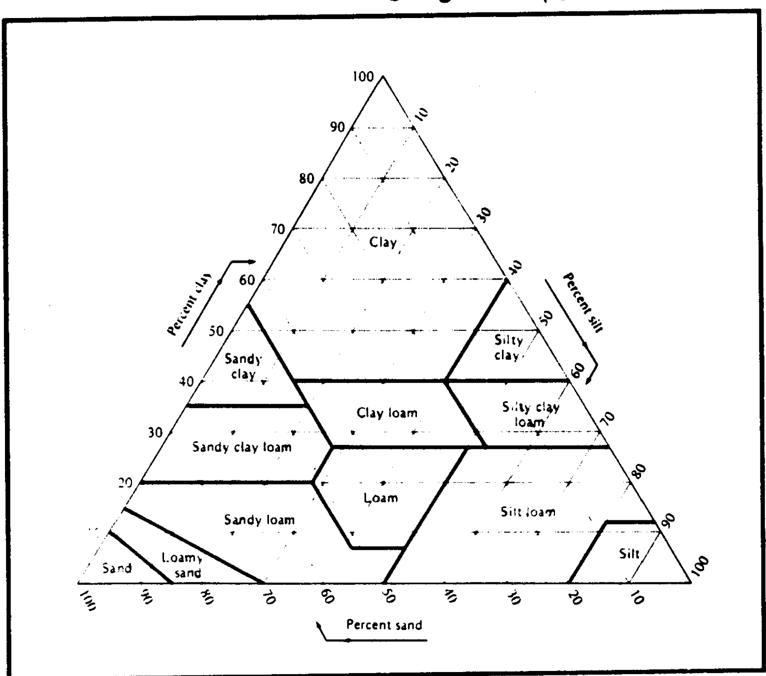
شكل (5-4) : اللوم وهو مخلوط من الرمل والسلت والطين

جدول (5-2) : التعبيرات المستخدمة لوصف قوام الأرض .

التعبير العام		الأسم المستخدم لتحديد نوع قوام التربه
الأسم الشائع	القوام	
أراضى رمليه Sandy soils	خشن	Sands Loamy sands
أراضى لوميه Loamy soils	متوسط	Sandy loam Loam Silt loam Silt Sandy clay loam Silty clay loam Clay loam
أراضى طينيه Clayey soils	ناعم	Sandy clay Silty clay Clay

تحديد نوع قوام التربه Determination of soil texture class

طورت وزارة الزراعة الأمريكية طريقه لتحديد نـوع قـوام الرتبـه تعتمـد أساسـاً على نتائج التحليل الحجمى للحبيبات particle size analysis التـى تم ذكرهـا سـابقاً وذلك بأستخدام ما يسمى بمثلث القوام textural triangle (شـكل رقـم 5-5) وهـو عبارة عن مثلث متساوى الأضلاع مقسم من الداخل إلى 12 قسما وكل قسـم يمثـل نوع من أنواع قوام التربه التى تم التعرف عليها سابقاً والموضحه بالجدول رقم (5-2) ويلاحظ أن الخطوط الغامقه داخل المثلث توضح حدود كل نوع . ومجموع النسـب المئويه للرمل والطين والسلت عند أى نقطه داخل المثلث هى 100 . ولتوضيح كيفيـه استخدام مثلث القوام لتحديد نوع قوام التربـه سـوف نفـترض أن التحليـل الحجمـى للحبيبات لأرض ما كـانت 15% clay, 20% Silt, 65% Sand فلتوقيـع النسـب السابقه على مثلث القوام يجب عمل التالى :



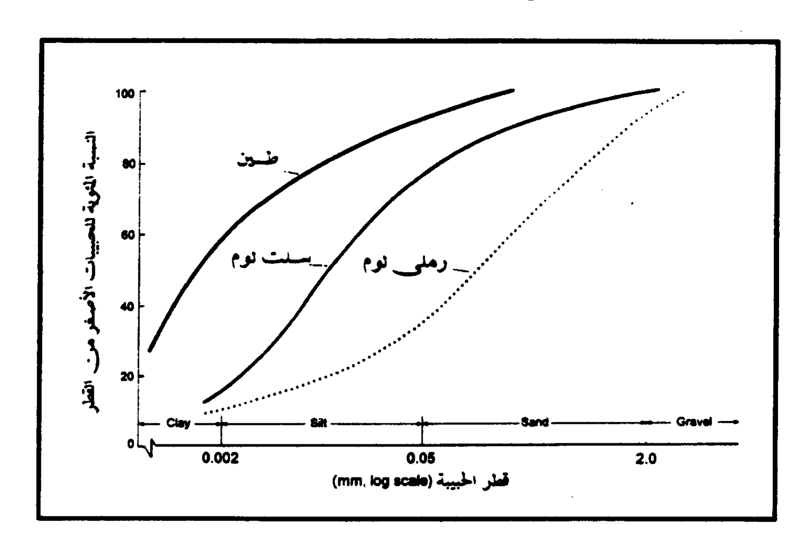
شكل (5-5) : مثلث القوام Texture Triangle المستخدم فى تحديد قوام التربه.

أ- حدد نسب الرمل (65%) على ضلع المثلث الذى يمثل الرمل Sand وأرسم خطا فى الإتجاه الذى يشير اليه السهم .

ب- حدد نسبة الطين (15%) على ضلع المثلث الذى يمثل الطين clay وأرسم خطا فى الأتجاه الذى يشير اليه السهم على هذا الضلع .

ج- سوف يتقاطع الخطين فى نقطة A تقع داخل قسم sandy loam وبالتالى فإن قوام التربه هو sandy loam وعادة ما تحتاج إلى نسبتين فقط لمعرفه قوام التربه .

توضح منحنيات المجموع summetion curves بالشكل رقم (5-6) التوزيع الحجمى للحبيبات للأراضى التى تمثل المجاميع الرئيسيه للقوام ويلاحظ التغير التدريجى لنسب مكونات كل أرض بالنسبة لحجم الحبيبات - مما يدل على عدم وجود تغير تدريجى فى الخواص يتوافق مع التغير التدريجى فى توزيع الحبيبات .



شكل (5-6) : التوزيع الحجمى للحبيبات فى ثلاثة أراضى مختلفه القوام ويلاحظ التدرج فى توزيع الحبيبات فى جميع الأراضى .

مثـال :

كانت نتائج التحليل الميكانيكى لثلاث عينات أرض مختلفه كما يلى :

أ - الرمل - 65% ، السلت - 25 % ، الطين - 10 %

ب- الرمل - 40% ، السلت - 50 % ، الطين - 10 %

جـ- الرمل - 20% ، السلت - 30 % ، الطين - 50 %

تعرف على قوام الأرض بأستخدام مثلث القوام .

الحـــل

* قوام العينة (أ) هو رملى لوم Sandy loam
* قوام العينة (ب) هو Silt loam

ويلاحظ أن نقطة التقاطع لنسب الرمل والسلت والطين فى مثلث القوام تقع على الخط الغامق الذى يفصل بين Silt loam, loam وفى هذه الحاله يتم اختيار القوام الأكثر نعومه .

* قوام العينة (ج) هو Clay

(٢) بناء الأرض Soil Structure

يعرف بناء الأرض soil structure بأنه "نظام ترتيب الحبيبات فى الأرض" ويصف ترتيب الحبيبات الفرديه Primary separates فى شكل مجموعات ثانوية تسمى الحبيبات المركبه aggregates (peds) .

قد يسود نوع واحد من البناء فى قطاع التربه أو قد يتكون عدة أنواع من البناء فى القطاع تختلف بأختلاف الآفاق .

ويؤثر بناء التربه على العديد من خواص الأرض مثل حركة المياه ، إنتقال الحراره التهويه والمساميه . والحقيقه أن التغيرات التى تحدث فى خواص الأرض الفيزيائيه نتيجة العمليات الزراعية المختلفه من حرث وزراعة وصرف وأضافة أسمدة عضويه هى عبارة عن تغيرات فى بناء التربه وليس فى قوام التربه .

أنواع بناء الأرض Types of Soil Structure

يتحدد نوع بناء الأرض تبعاً لشكل الحبيبات المركبه aggregates السائد فى الأفق horizon. ويوجد أربع أنواع رئيسيه للبناء وهى :

مستدير (حبيبى) spheroidal ، طبقى platy ، كتلى block-like ، منشورى prism-like ويوضح الجدول رقم (5-3) أنواع بناء التربه مع وصف مختصر لكل نوع. أما الوصف التفصيلى لأنواع بناء التربه فهى كما يلى :

أ – البناء المستدير Spheroidal

وفيه تكون شكل الحبيبات المركبه مستدير وتكون الحبيبات المركبه بعيدة عن بعضها . وينقسم إلى :

i. بناء حبيبى granular وفيه تكون الحبيبات المركبه غير مساميه .
ii. بناء مفتت crumb وفيه تكون الحبيبات المركبه ذات مساميه كبيرة .

ويسود البناء الحبيبى والمفتت فى الآفاق السطحيه وخاصة الآفاق عاليه المحتوى من المادة العضويه كما أن هذين النوعين من البناء يتأثران بدرجة كبيرة بالعمليات المستخدمة فى إدارة التربه مثل الحرث وخلافه .

ب– البناء الطبقى Platy structure

فى هذا النوع من البناء تترتب الحبيبات المركبه أفقياً على شكل طبقات رقيقه أى أن نمو الحبيبات يكون فى الإتجاه الأفقى . ويتواجد هذا البناء غالباً فى الآفاق السطحيه للأراضى الحديثه . وبالرغم من أن نوع البناء هو نتاج عوامل تكوين الأراضى إلا أن البناء الطبقى غالبا ما يكون وراثيا من مادة الأصل وخاصة فى الأراضى المغمورة بالماء أو الثلوج .

جـ – البناء المنشورى Prism-like structure

والحبيبات المركبه فى هذا البناء تكون موجهه رأسياً أى أنها تكون على شكل أعمدة تختلف فى أطوالها من أرض إلى أخرى . وقد يصل قطر الحبيبه المركبه إلى 15 cm أو أكثر . ويسود هذا النوع من البناء فى الآفاق تحت السطحيه لأراضى المناطق الجافه وشبه الجافه .

وينقسم البناء المنشورى إلى :

i. بناء عمودى columnar وفيه تكون قمم الأعمدة المنشوريه مستديرة .

ii. بنـاء منشـورى prismatic structure وفـيه تكـون قـمم الأعمـدة مسـتويه plane (level).

د- البناء الكتلى Block-like structure

وفى هذا البناء تكون الحبيبات المركبه على شكل مكعبات blocks ذات أوجـه سداسيه غير منتظمة وأبعادها الثلاثة متساوية ويتراوح سمك المكعبات من 1-10 cm.

وينقسم هذا البناء إلى :

i. بناء كتلى زاوى Angular blocky وفيه تكون حواف المكعبات حـادة والأوجـه على شكل مستطيل .

ii. بنـاء كتلـى تحـت زاوى Subangular blocky وفيـه تكـون حـواف المكعبـات والأوجه مائله للإستداره .

وبوجه عام فإن البناء الكتلي غالباً ما يتواجد فى الآفاق تحت السطحيه . درجة تطور هـذا البنـاء يرتبـط إرتباطـاً وثيقـاً بـالصرف والتهويـه وإختـراق جـذور النبـات للأرض.

كيفية تكون بناء الأرض :

ميكانيكية تكون بناء الأرض غير معروف تحديداً ومع ذلك فإن عمليـه اختـراق جذور النبات للأرض ينشأ عنها إنضغاط حبيبات الأرض الفرديه إلى حبيبـات مركبـة صغيرة ، كما ينشأ عنها أيضـا تحطيـم الحبيبـات المركبـه الكبـيرة . كمـا أن عمليـات التمدد والإنكماش الناتجه عن عمليات الجفاف والابتلال ينشأ عنها نفس الأثر .

تقوم جذور النباتات بإفراز مواد كيميائيه عضويـه تسـاعد علـى ربـط حبيبـات التربه الفرديه ببعضها وتكوين حبيبات مركبه . كما أن التحلل الميكروبى لبقايا النبات ينتج عنه مواد عضويه تتفاعل مع حبيبات الطين وتعمل على التحـام الحبيبـات المركبه ببعضها. ولذلك فإن المواد العضويه تعمـل على تنشيط تكون الحبيبات المركبه

وأيضا تساعد فى ثبات هذه الحبيبات . وهذه العمليات تكون واضحة جداً فى الآفاق السطحيه التى بها تجمع للماده العضويه ونشاط ميكروبى وجذرى ملحوظ .

أما بالنسبة لميكانيكية تكوين الحبيبات المركبه فى الآفاق تحت السطحيه فهو غير مفهوم تماماً وإن كان من المعتقد أن هجرة السليكا والطين وأكاسيد الحديد والألومونيوم والأملاح الذائبه وكربونات الكالسيوم إلى أسفل القطاع يعمل على تنشيط تكوين الحبيبات المركبه تحت ظروف مناخية وأرضية مختلفه .

جدول (5-3) : أنواع وأشكال بناء الأرض وأماكن أنتشارها .

نوع البناء	الانتشار	شكل البناء
بناء طبقى Plate like	يتواحد فى أى جزء من القطاع الأرضى وغالباً ما يكون مورثاً من مادة الأصل .	Plate-like Platy-leafy and flaky also found
بناء منشورى Prism like أ- بناء منشورى Prismatic ب- بناء عمودى Columnar	عادة ما يتواحد فى أفق B وينتشر فى أراضى المناطق الجافه .	Prism-like Prismatic (Level tops) Columnar (Rounded tops)
بناء كتلى Block like أ - بناء كتلى زاوى Angular blocky ب- بناء كتلى تحت زاوى Subangular blocky	شائع الوجود فى أفق B وخاصة فى أراض المناطق الرطبه .	Block-like Blocky (Cube-like) Blocky (Subangular)
بناء مستدير Spheroidal structure أ- بناء حبيبى Granular ب- بناء مفتت Crumb	شائع الوجود فى الآفاق السطحيه ومعرض للتغيرات السريعه .	Spheroidal Granular (Porous) Crumb (Very porous)

وصف بناء الأرض Description of soil structure

الوصف الكامل لبناء الأرض يجب أن يشمل ما يلى :

١- **نوع بناء الأرض Type** : ويشمل شكل ونظام ترتيب الحبيبات المركبه .
٢- **درجة البناء Class** : وهى عباره عن وصف حجم Size الحبيبات المركبه peds.
٣- **درجة الوضوح Grade** : وهى عبارة عن درجة وضوح distinctivness الحبيبات المركبه ويعبر عنها كما يلى :

أ) عديمة البناء Structureless

عندما تكون الحبيبات المركبه غير ملحوظه وتكون إما Massive كما فى حالة الطين أو حبيبات فرديه كما فى الرمل .

ب) ضعيفة البناء Weak

وفيها تكون الحبيبات المركبه ذات تكوين ضعيف ويمكن ملاحظتها بصعوبه.

جـ) متوسطة البناء Moderate

وفيها تكون الحبيبات المركبه واضحه وجيدة التكوين ولكنها غير واضحة فى الأراضى undisturbed .

د) قوية Strong

وفيها تكون الحبيبات المركبه واضحة فى undisturbed soil كما أن الحبيبات المركبه تكون غير مترابطه ببعضها ويمكن فصلها عند هدم التربه disturbed .

ويوضح الجدول (5-4) كيفية وصف نوع ودرجة بناء التربه . وعموماً يوصف بناء التربه بالترتيب التالى : درجة الوضوح grade ثم درجة البناء class ثم نوع البناء كالتالى : "Strong Fine Granular" .

أهمية بناء الأرض فى الآفاق السطحيه

Importance of structure in Topsoil

ترجع أهمية بناء الأرض فى الآفاق السطحية إلى تأثيرة على (١) التهوية (٢) نفاذية الماء والجريان السطحى (٣) درجة مقاومة الأرض للأنجراف (٤) تكوين مهد جيد لنمو البادرات .

	Type (Shape and Arrangement of Peds)						
				Blocklike, Polyhedronlike, or Spheroidal, with Three Dimensions of the Same Order of Magnitude, Arranged around a Point			
	Platelike with One Dimension (the Vertical) Limited and Greatly Less than the Other Two; Arranged around a Horizontal Plane; Faces Mostly Horizontal	Prismlike With Two Dimensions (the Horizontal) Limited and Considerably Less than the Vertical; Arranged around a Vertical Line; Vertical Faces Well Defined; Vertices Angular		Blocklike; Blocks or Polyhedrons Having Plane or Curved Surfaces That Are Casts of the Molds Formed by the Faces of the Surrounding Peds		Spheroids of Polyhedrons Having Plane or Curved Surfaces Which Have Slight or No Accommodation to Faces of Surrounding Peds	
		Without Rounded Caps	With Rounded Caps	Faces Flattened; Most Vertices Sharply Angular	Mixed Rounded and Flattened Faces with Many Rounded Vertices	Relatively Non-porous Peds	Porous Peds
Class	Platy	Prismatic	Columnar	(Angular) Blocky	(Subangular) Blocky	Granular	
Very fine or very thin	Very thin platy; < 1 mm	Very fine prismatic; < 10 mm	Very fine columnar; < 10 mm	Very fine angular blocky; < 5 mm	Very fine subangular blocky; < 5 mm	Very fine granular; < 1 mm	Very fine crumb; < 1 mm
Fine or thin	Thin platy; 1 2 mm	Fine prismatic; 10 20 mm	Fine columnar; 10 20 mm	Fine angular blocky; 5 10 mm	Fine subangular blocky; 5 10 mm	Fine granular; 1 2 mm	Fine crumb; 1 2 mm
Medium	Medium platy; 2 5 mm	Medium prismatic; 20-50 mm	Medium columnar; 20 50 mm	Medium angular blocky; 10 20 mm	Medium subangular blocky; 20 20 mm	Medium granular; 2 5 mm	Fine crumb; 1 2 mm
Coarse or thick	Thick platy; 5 10 mm	Coarse prismatic; 50 100 mm	Coarse columnar; 50 100 mm	Coarse angular blocky; 20 50 mm	Coarse subangular blocky; 20 50 mm	Coarse granular; 5 10 mm	
Very coarse or very thick	Very thick platy; > 10 mm	Very coarse prismatic; > 100 mm	Very coarse columnar; > 100 mm	Very coarse angular blocky; > 50 mm	Very coarse subangular blocky; > 50 mm	Very coarse granular; > 10 mm	

Source: Revised Soil Survey Manual, Transmittal 430-V, USDA – Soil Conservation Service, June 9, 1981, pp. 4-70 to 4-81.

ويعتبر البناء الحبيبى granular هو البناء المثالى لعلاقـات الماء والهـواء . فوجـود المسافات بين الحبيبات ضرورى لعمليات التهويه ولصـرف الميـاه . ولمـا كـانت المياه التي تدخل التربه لابد وأن تمر على الطبقه السطحيه فـإن نفاذيـة أفـق A يكـون هامـاً جداً لأن عدم دخول مياه الأمطار إلى الأرض سوف يؤدى إلى جريان سطحى للمـاء ويسبب إنجراف للتربه . ويؤثر حجـم ودرجـة تكـون الحبيبـات المركبـه علـى سـرعة جريان الماء السـطحى وبالتـالى علـى قدرتـه علـى تجريـف التربـه أى أن الـترابط بـين الحبيبات المركبه يعمل على خفض إنجراف التربه .

من شروط المهد الجيد للبذرة توفير الظروف البيئيه المناسبه لنموها مثل التلامـس الجيد بين البذرة والتربه لإمداد البذرة بالماء ووجود مسـافات بيـنية فـى التربـه كافيـه لإمداد البذرة بالهواء . ولذلك فإن الهدف الرئيسى من عملية الحرث هـو توفـير مهـد جيد للبذرة فى الأراضى ذات البناء الردئ .

أهمية بناء الأرض فى الآفاق تحت السطحية

Importane of Structure in Subsoils

يتوقف نوع بناء الأرض فى الآفاق تحت السطحية (B) إلى حد كبير على قوام التربه فالآفاق B ذات القوام الرملى لاتسبب أى مشكلة بينما آفاق B المنضغطه والتى تحتوى على كميات كبيرة من الطين تكون حركة الماء فيها بطيئة ويمكن بمرور الوقت أن تؤدى إلى تشبع الآفاق السطحية (A) بالماء . ولذلك فبعض المزارعين يسـتخدمون الحرث العميق لتحسين بناء التربه فى الآفاق تحـت السـطحية . وممـا سـبق يتضـح أن تقويم وتثمين الأراضى الزراعية يجب أن يأخذ فى الأعتبار الخواص الفيزيائيـه للآفـاق السطحيه وذلك لأن تغيير بناء التربه فى الآفاق السطحيه أسهل بكثير وأقل تكلفه من تغيير بناء التربه فى الآفاق تحت السطحيه .

ثبات الحبيبات المركبه Aggregate Stability

تنحصر الخصائص الهامه لبناء الأرض فيما يلى :

١- نظام ترتيب الحبيبات الفرديه وتجمعها فى حبيبات مركبه ذات أشكال وأحجـام تسمح بتكوين مسام كبيرة متصله ببعضها البعض بواسطة قنوات Channels .

٢- ثبات الحبيبات المركبه عند تعرضها للماء . فثبات الحبيبات المركبه فى الماء يزيد من قدرة التربه على امتصاص الماء وبالتالى تصبح قدرة التربه على مقاومة الإنجراف عاليه . أما إذا كانت الحبيبات المركبة ضعيفة فسوف يؤدى سقوط الأمطار عليها الى تفتيتها إلى حبيبات فرديه ويتبع ذلك غلق مسام التربه بحبيبات الطين والسلت المفرقه مما يؤدى إلى مشاكل عدم النفاذيه وإنجراف التربه بواسطة ماء الجريان السطحى run off .

ويتوقف ثبات الحبيبات المركبه على العوامل التاليه :

- قوام الأرض .
- نوع معدن الطين ونوع الأيونات المصاحبه له .
- نوع وكمية المادة العضوية الموجودة فى الأرض .

ويجدر الإشارة هنا إلى أن تأثير ثبات الحبيبات المركبه على نمو النبات هو تأثير غير مباشر ويكون أكثر وضوحاً فى الأراضى ذات المحتوى العالى من الطين .

الميكانيكيات المقترحه لثبات الحبيبات المركبه

Probable Mechanisms of Aggregate Stability

يوجد العديد من الميكانيكيات المقترحه لثبات الحبيبات المركبه وتختلف ميكانيكية ثبات الحبيبات المركبه بأختلاف الأراضى نفسها . ولفهم هذه الميكانيكيات سوف نذكر بعض الحقائق الهامه :

- لا تميل حبيبات الرمل والسلت إلى تكوين حبيبات مركبه إلا فى وجود الطين والمادة العضوية ولذلك سوف لا نتعرض الى الرمل والسلت عند شرح ميكانيكية ثبات الحبيبات المركبه .
- الجزء الطينى clay fraction يمكن تقسيمه الى ثلاث مجموعات من المعادن :

(i) حبيبات من الكوارتز والفلسبارات ذات أحجام مساويه لأحجام حبيبات الطين وهى خاملة inert ولذلك يمكن إهمالها .

(ii) أكاسيد الحديد والألومنيوم المتأدرته التى تعتبر مكون هام فى كثير من الأراضى .

(iii) معادن الطين السليكاتيه مثل المونتموريللونيت والكاؤولينيت وغيرها .

ويمكن تلخيص الميكانيكيات المقترحه لثبات الحبيبات المركبه فيما يلى :

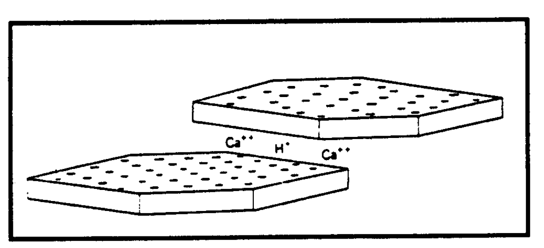
١- الروابط الكيميائية فى حبيبات الأرض المركبه

Chemical bonding in soil aggregates

من الممكن أن يعزى ثبات الحبيبات المركبه الى الروابط الكيميائية نتيجة إمتلاك حبيبات الطين شحنات كهربائية . فحبيبات معادن الطين تحمل على سطوحها شحنات سالبة قادرة على تكوين روابط كيميائيه . كما أن الشحنات السالبه تقوم بجذب الشحنات الموجبه . ويوجد 3 أنواع من الشحنات الموجبه التى تدخل فى تكوين روابط كيميائية فى الحبيبات المركبه:

أ - الترابط الكاتيونى Cation linkage

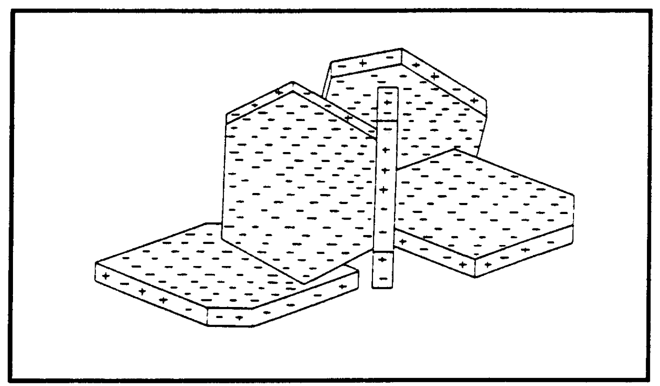
وتنشأ هذه الرابطة نتيجة إنجذاب الكاتيونات موجبه الشحنه إلى الشحنه السالبه على أسطح حبيبتى طين وربطهما ببعض (شكل 5-7) وقوة الرابطة تتوقف على حجم وشحنة الكاتيون وأمثلة الكاتيونات التى تساعد على ثبات الحبيبات المركبه هى الألومونيوم ن والكالسيوم بينما تعمل كاتيونات الصوديوم على هدم البناء .



شكل (5-7) : إرتباط حبيبتى طين بواسطة الترابط الكاتيونى.

ب- The Cardhouse effect

وهذا التأثير موضح بالشكل رقم (5-8) وينشأ نتيجة وجود الشحنات الموجبه على حواف معادن الطين الطبقيه وينتج عن ذلك إنجذاب حواف صحيفه الطين إلى سطح صحيفه طين أخرى تحمل شحنة سالبة وهكذا تترتب الحبيبات فى نظام ذو ثلاثة أبعاد تحتوى على مسافات بينية صغيرة وكثيرة تسمح بتخزين الماء وبوجه عام البناء الناتج من هذا التأثير يكون ضعيفاً .



شكل (5-8) :
مجموعه من حبيبات الطين توضح Cardhouse effect على بناء الأرض حيث تنجذب حواف معادن الطين الحامله لشحنات موجبه إلى سطوح معادن الطين الحامله لشحنات سالبه .

جـ - Plinthite

والأسم القديم الشائع لـه هـو لاتـيريت Laterite الـذى يحتـوى علـى أكاسـيد الحديد والألومونيوم المتأدرته التى تحمل شـحنه موجبـه وتقـوم هـذه الأكاسـيد بربـط حبيبات الطـين الحاملـه لشـحنه سـالبه بعضهـا ببعـض . والبلينثيـت Plinthite يمكـن تقطيعه إلى مكعبات أو مستطيلات وتجفيفه فى الشمس لإنتاج طوب صلب حيث أن التجفيـف يعمـل علـى تقويـه الروابـط الكيميائيـه وتصبـح روابـط غـير عكسـية irreversible يصعب إنفصامها .

٢- الروابط العضويه فى الحبيبات المركبه :

تتواجد كثير من المركبات العضوية فى التربه وهذه المواد هى عباره عن سلاسل كربونيه طويله مرتبطه بمجاميع نشطه وينتج عن تأين هذه المجاميع وجود مواقـع ذات شحنات موجبه أو شحنات سالبه ويمكن للمركبات العضويه أن تربط حبيبات التربـه ببعضها لتكوين حبيبات مركبه بطرق عديده نذكر منها :

(أ) الروابط الكيميائية Chemical linkage

وتنشأ بين المواقع موجبه الشحنه فى المادة العضويه والمواقع سالبه الشـحنه على

حبيبات الطين أى أن المواقع الموجبه الشحنه فى الجزء العضوى يمكن أن تربط بين حبيبات الطين وبالتالى تساعد على تكوين الحبيبات المركبه .

(ب) الهيفا Filamentous

تنتج الفطريات والأكتينوميسيتات كميات كبيرة من الهيفا mycele تلتف حول حبيبات التربه وتربط بينهم .

(جـ) إفرازات جذور النبات Gelatinous exudates

تفرز جذور النبات والبكتريا وميكروبات الأرض الأخرى مواد جيلاتينيه تعمل كمادة لاحمة بين حبيبات التربه مما ينشأ عنه حبيبات مركبه .

دليل الحبيبات المركبه Aggregation Index

يعرف ثبات الحبيبات المركبه بأنه " مقاومة الحبيبات المركبه للكسر عند تعرضها لقوى التفكك destructive " ويعد ثبات الحبيبات المركبه ضد التأثير الهدام للماء نتيجه تعاقب دورات الإبتلال والإنتفاخ والتجفيف (الإنكماش) وما يتبع ذلك من تفتت الحبيبات المركبه دليلاً على ثبات الحبيبات المركبه .

ويمكن قياس ثبات الحبيبات المركبه للأراضى فى الحالة غير المشبعه وذلك بأستخدام قطرات الماء water drops التى تسقط من إرتفاع معين على حجم معين من أرض موضوعه على شبكة بها فتحات ذات قطر معين ويتم تقدير عدد قطرات الماء اللازمه لغسيل عينة الأرض خلال الشبكه . وكلما زاد عدد قطرات الماء اللازمه لغسيل عينة الأرض كلما دل ذلك على ثبات الحبيبات المركبه .

والطريقة الشائعة لدراسه ثبات الحبيبات المركبه هى طريقه المنخل المبتل wet sieving method وفى هذه الطريقه تستخدم مجموعه من المناخل ذات فتحات متدرجه الأقطار فى الماء بحيث يكون المنخل العلوى هو الأكبر قطراً يليه الأصغر وهكذا .

توضع عينة الأرض الجافه هوائياً فى المنخل العلوى ويتم تحريك مجموعه المناخل حركة رأسية لأعلى أو لأسفل بطريقه تسمح للماء بالتدفق أعلى وأسفل المناخل

فيحدث التأثير التكسيرى للماء على الحبيبات المركبه حيث ينتج عن تحرك الماء داخل الحبيبات ضغط للهواء الموجود فى الفراغات البينيه مما يؤدى إلى تفتت الحبيبات ومرورها إلى المنخل التالى وهكذا . بعد زمن محدد (20 min) توقف حركة المناخل ويقدر وزن الحبيبات الجاف oven dry المتبقى فى كل منخل . وتبعاً لـ Kem per, 1965 فإنه يجب تصحيح النتائج بالنسبة للحبيبات الأوليه الخشنة الموجودة على كل منخل ويتم بواسطة مادة صودية مفرقه وإعادتها ثانية إلى المنخل وغسيلها ويتم طرح وزن كمية الرمل المتبقيه من عملية النخل الثانية من وزن الكمية التى تم تجميعها فى عملية النخل الأولى .

وتحسب النسبه المئويه للحبيبات الثابته (SA%) كما يلى :

$$\% SA = \frac{\text{(weight retained) - (weight of sand)}}{\text{(total sample weight) - (weight of sand)}} \times 100$$

$$\text{٪ للحبيبات المركبة الثابتة} = \frac{\text{الوزن المحتجز فى عملية النخل الأولى − وزن الرمل}}{\text{الوزن الكلى للعينة − وزن الرمل}} \times ١٠٠$$

ولما كانت SA% تتوقف على زمن اهتزاز الحبيبات المركبه فى الماء فإن العلاقه بين SA% ، والزمن (t) يمكن التعبير عنه بالعلاقه التاليه :

$$\text{Log (\%SA)} = a - b \log t$$

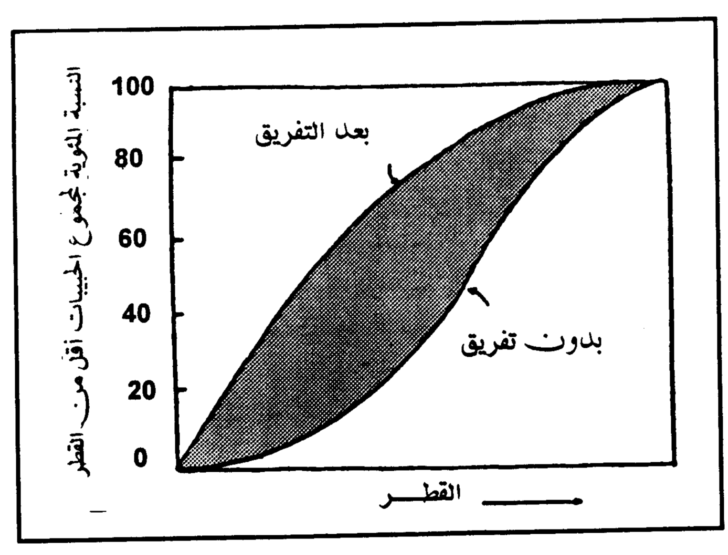
حيث :

t - الزمن

a - لوغاريتم وزن العينه المستخدمه فى التحليل

b - ميل منحنى log (%SA) مع log t

وبأستخدام طريقه النخل المبتل يمكن التعبير عن النتائج بما يسمى بدليل الحبيبات المركبه Aggregation Index. وذلك برسم منحنيين تجميعيين Cumulative (شكل رقم 5-9) الأول يمثل التوزيع بعد التفريق (عملية النخل الثانية) وكبر المساحة المظلله بين المنحنيين يدل على ثبات الحبيبات المركبه ضد الماء .



شكل (5-9) : دليل الحبيبات المركبه Aggregate Stability.

أيضاً يمكن إستعدام الفرق بين القطر المتوسط للأوزان Mean Weight - Diameter (MWD) فى حالتى النخل الجاف والنخل المبتل كدليل لثبات الحبيبات المركبه كما فى المثال التالى :

مثال :

أحسب القطر المتوسط للأوزان (MWD) فى حالتى النخل الجاف والنخل المبتل للحبيبات المركبه الخاصه بعينتى أرض إحداهما تمثل أرض مزروعه والأخرى تمثل أرض بكر(الجدول 5-5) علماً بأن النسب المئويه فى الجدول تعبر عن كتلة الأرض الجافه فى مدى قطر معين .

جدول (5-5) :

مدى أقطار الحبيبات المركبه mm	النخل الجاف Dry Sieving (%)		النخل المبتل Wet Sieving (%)	
	أرض مزروعه Cultivated	أرض بكر Virgin soil	أرض مزروعه Cultivated	أرض بكر Virgin soil
0.0-0.5	25	10	50	30
0.5-1.0	25	10	25	15
1-2	15	15	15	15
2-5	15	15	5	15
5-10	10	20	4	15
10-20	7	20	1	5
20-50	3	10	0	5

الحـــل :

أولاً – يتم حساب القطر المتوسط الخاص بمدى أقطار الحبيبات المركبه كما يلى :

المدى :	0.0-0.5	0.5-1.0	1-2	2-5	5-10	10-20	20-50
المتوسط:	0.25	0.75	1.5	3.5	7.5	15	35

ويعرف القطر المتوسط للأوزان MWD كما يلى :

$$X = \sum_{i=1}^{i=n} \chi_i w_i$$

حيث :

X – القطر المتوسط للأوزان MWD

χ_i – القطر المتوسط لمدى حجم معين من الحبيبات المركبه التى تم فصلها بواسطة النخل .

w_i – وزن الحبيبات المركبه فى مدى χ_i ويعبر عنه كنسبه من الوزن الجاف الكلى للعينه .

ثانياً – حساب القطر المتوسط للأوزان :

فى حالة النخل الجاف للأرض البكر

$$X = (0.25\times0.1) + (0.75\times0.1) + (1.5\times0.15) + (3.5\times1.5) + (7.5\times0.2) + (15\times0.2) + (35\times0.1) = 8.85 \text{ mm.}$$

فى حالة النخل الجاف للأرض المزروعه

$$X = (0.25\times0.25) + (0.75\times0.25) + (1.5\times0.15) + (3.5\times1.5) + (7.5\times0.1) + (15\times0.07) + (35\times0.03) = 4.30 \text{ mm.}$$

فى حالة النخل المبتل للأرض البكر

$$X = (0.25\times0.3) + (0.75\times0.15) + (1.5\times0.15) + (3.5\times0.15) + (7.5\times0.15) + (15\times0.05) + (35\times0.05) = 4.56 \text{ mm.}$$

فى حالة النخل المبتل للأرض المزروعه

$$X = (0.25\times0.5) + (0.75\times0.25) + (1.5\times0.15) + (3.5\times0.05) + (7.5\times0.04) + (15\times0.01) + (35\times0.0) = 1.16 \text{ mm.}$$

ومن النتائج السابقه نستنتج ما يلى :

أ – أدى النخل المبتل إلى خفض القطر المتوسط للأوزان فى الأرض البكر من 8.85 mm إلى 4.56 mm وفى الأرض المنزرعه من 4.30 mm إلى 1.16 مما يدل على درجة عدم ثبات الحبيبات المركبه المختلفه ضد التأثير التكسيرى للماء .

ب– زراعة الأرض تؤدى بوجه عام إلى خفض ثبات الحبيبات المركبه ضد الماء. نتيجة تفكيك التربه وخفض محتوى التربه من المادة العضوية وبالتالى تصبح الأرض أكثر عرضه للإنجراف بواسطة الماء .

(٣) الكثافة الحقيقيه للأراضى المعدنيه

Particle Density of Mineral Soils

تعرف الكثافة الحقيقيه للأرض بأنها كتلة وحدة الحجم للجزء الصلب من الأرض ويعبر عنها بوحدات g/cm^3 أو Mg/m^3 وعليه فإذا كان وزن حجم $1m^3$

من الجزء الصلب من الأرض يساوى 2.6 Mg فإن كثافة الحبيبات الصلب = 2.6 Mg/m^3 .

(1Mg = 1 million grams and $1m^3$ = 1 million cubic centimeters)

ويجب ملاحظة أن الكثافة الحقيقيه للحبيبات الصلبه ليس لها أى علاقة بالماء أو الهواء الموجود بين مسام التربه كما لايوجد علاقه بين نظام ترتيب الحبيبات والكثافه الحقيقيه . حيث أن الكثافه الحقيقيه تعتمد على التركيب الكيماوى والبناء البلورى للحبيبات المعدنيه ولاتتأثر بالمسافات البينية الموجوده بين الحبيبات .

وقيمة الكثافة الحقيقيه للأرض المعدنيه تعتبر متوسط كثافة المواد الصلبه الموجوده فى الأرض . أى أنها أنعكاس لكثافة المعادن السائدة فى الجزء الصلب من الأرض . ولما كانت كثافة معادن الكوارتز، الفلسبارات والميكا ومعادن الطين التى تكون سائدة فى الأرض تتراوح بين 2.0 إلى 3.0 (جدول رقم 5-6). فإن مدى الكثافة الحقيقيه للأرض المعدنيه تتراوح بين 2.6 - 2.75 Mg/m^3 . أما الكثافة الحقيقية للمادة العضوية فتتراوح بين 1.1-1.4 Mg/m^3 ، وبالتالى فإن كمية المادة العضوية فى الأرض تؤثر بدرجة كبيرة على الكثافة الحقيقيه للأرض . وعموماً فإن متوسط الكثافة الحقيقية للأراضى المعدنية التى تحتوى على 3-5% مادة عضوية يمكن إعتبارها 2.65 Mg/m^3 .

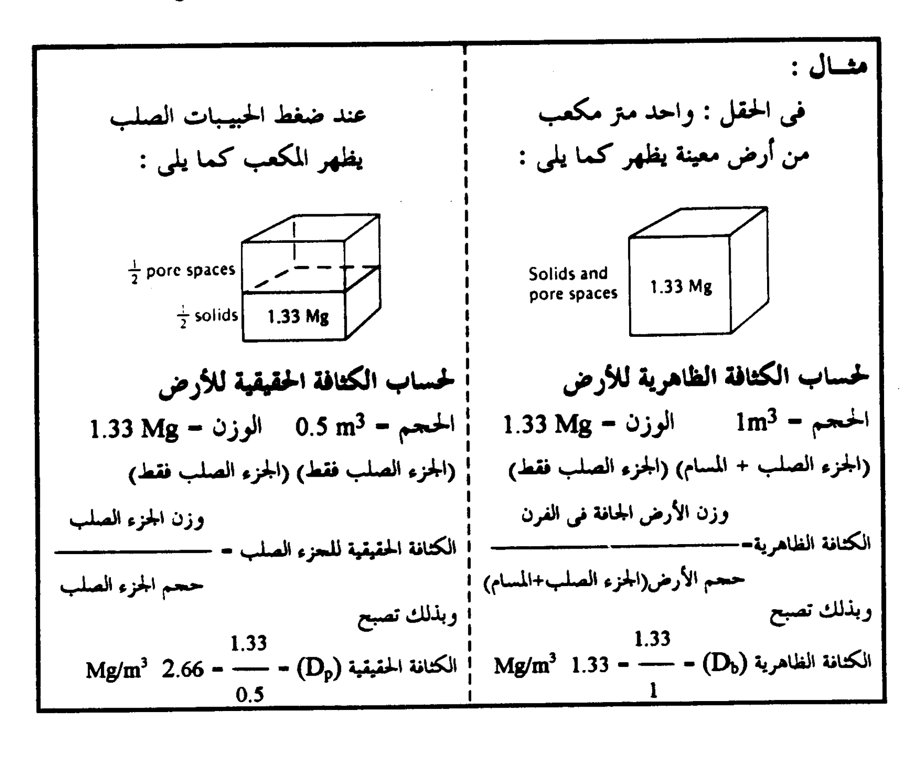
جدول (5-6) : كثافة بعض مكونات الأرض الصلبه .

المكون الصلب	الكثافة (Mg/m^3)
كوارتز	2.65
أورثوكلاز	2.65
بلاجيوكلاز	2.60-2.76
ميكا	2.76-3.00
معادن الطين السليكاتيه	2.00-2.70
أكاسيد الحديد والألومونيوم	2.40-4.30
المادة العضوية	1.1-1.4

(٤) الكثافة الظاهرية للأراضى المعدنية

Bulk Density of Mineral Soils

تعتبر الكثافة الظاهرية أحد القياسات الوزنيـة الهامـه للأراضـى . وتعـرف بأنهـا "كتلة وحدة الحجم مـن الأرض الجافـه" ويشـمل الحجـم هنـا حجـم الجـزء الصلـب بالإضافة الى حجم المسـام . أى أن الكثافـة الظاهريـة هـى كتلـة وحـدة الحجـم مـن الأرض فى حالتها الطبيعية undisturbed أى أنه يلزم لتقدير الكثافـة الظاهريـة معرفـة حجم التربه الطبيعى ويتم ذلك فى الحقل بواسطة أسطوانة نحاسيه معروف حجمهـا. يجب مراعاة الحرص عند أخذ عينة الأرض بحيث لايحدث تغيير فى بناء التربـة . ويتـم التعبير عن الكثافة الظاهرية بنفس وحدات الكثافة وهـى g/cm^3 ، Mg/m^3 ويوضـح المثال التالى الفرق بين حسابات الكثافة الظاهرية والكثافة الحقيقية للأرض .



مثـــال :

أخذت عينة أرض من الحقل بواسطة إسطوانة وتم تجفيف عينة الأرض فى الفرن عند درجة حرارة 105ºC وكانت النتائج كالتالى :

إرتفاع الأسطوانة (h) = 5.0

قطر الأسطوانة = 4.4 cm

وزن عينة الأرض الجافه = 87.6 g

إحسب الكثافه الظاهريه للأرض ؟

الحـــل :

حجم عينة الأرض = حجم الأسطوانـــة

حجم الأسطوانة (الأرض) = $\pi\left(\frac{\text{diameter}}{2}\right)^2 h$

$= (3.14)\left(\frac{4.4\text{cm}}{2}\right)^2 (5\text{cm})$

$= 76.0\ \text{cm}^3$

الكثافة الظاهرية = وزن عينة الأرض / حجم عنة الأرض

$$\text{bulk density} = \frac{87.6\text{g}}{76\text{cm}^3}$$

$= 1.150\ \text{g/cm}^3$

ومعرفه الكثافة الظاهرية تفيد فى حساب أوزان الأراضى .

مثـــال :

إحسب وزن الأرض اللازمه لملأ صندوق إنبات البذور أبعاده هى :
طول = ١ متر ، عرض = 20 cm ، إرتفاع = 15 cm ، إذا علمــــت أن الكثافـــه الظاهريه للأرض = $1.1 g/cm^3$.

الحـــــل

وزن الأرض = الكثافه الظاهريه × حجم الأرض

$= 100 cm \times 20 cm \times 15 cm \times 1.1 g/cm^3 = 33 kg$

مثـــال :

إحسب وزن فدان من أرض لعمق 30cm إذا علمت أن الكثافـــه الظاهريـــه لهذه الأرض = $1.57 g/cm^3$.

الحـــــل

مساحة الفدان = $42 \times 106 cm^2 = 4200 m^2$

حجم الفدان = $42 \times 10^6 cm^2 \times 30 = 126 \times 10^7 cm^3$

وزن الفدان = حجم الفدان × الكثافه الظاهريه للأرض

$= 1.57 g/cm^3 \times 126 \times 10^7 cm^3 = 198 \times 10^7 g$

$= 198 \times 10^4 kg = 2000 ton$ تقريباً

العوامل التى تؤثر على الكثافه الظاهرية :

أ - نسبة الفراغات البينيه Percent of Pore Space

تتوقف قيم الكثافه الظاهريـه علـى حجـم كـلا مـن الجـزء الصلـب والفراغـات المساميه ولذلك فالأراضى التى تحتوى علـى نسبه عاليـه مـن المسـام تكـون كثافتهـا الظاهريه أعلى من الأراضى التى تحتوى علـى نسبه منخفضـه مـن المسـام . وبالتـالى فالعوامل التى تؤثر علـى المسـاميه سـوف تؤثـر بالتـالى علـى قيـم الكثافـه الظاهريـه للأراضى .

قيم الكثافه الظـاهـريه للأراضى ناعـمـة القـوام بوجه عام تكون أقل من الكثافه

الظاهريه للأراضى الرمليه وذلك لأن نظام ترتيب الحبيبات فى الأراضى ناعمه القوام والتى تحتوى على كميه مناسبه من المـاده العضويـه يكـون مـن النـوع الحبيبـى الـذى يسمح بتكوين نسبه عاليه من المساميه الكليه وذلك عكس ما يحـدث فـى الأراضـى الرمليه قليلة المحتوى من المادة العضويه . تتراوح قيم الكثافه الظاهريه للأراضى الطينيه والطيـنه اللوميه والسلتيه اللوميـه السـطحـيه مـن $1.00\ Mg/m^3$ إلى $1.60\ Mg/m^3$ بينمـا تتراوح قـيم الكـثـافـه الظـاهـريـه فـى الأراضـى الرمـليـه واللوميـــه بـين $1.2\text{-}1.80\ Mg/m^3$

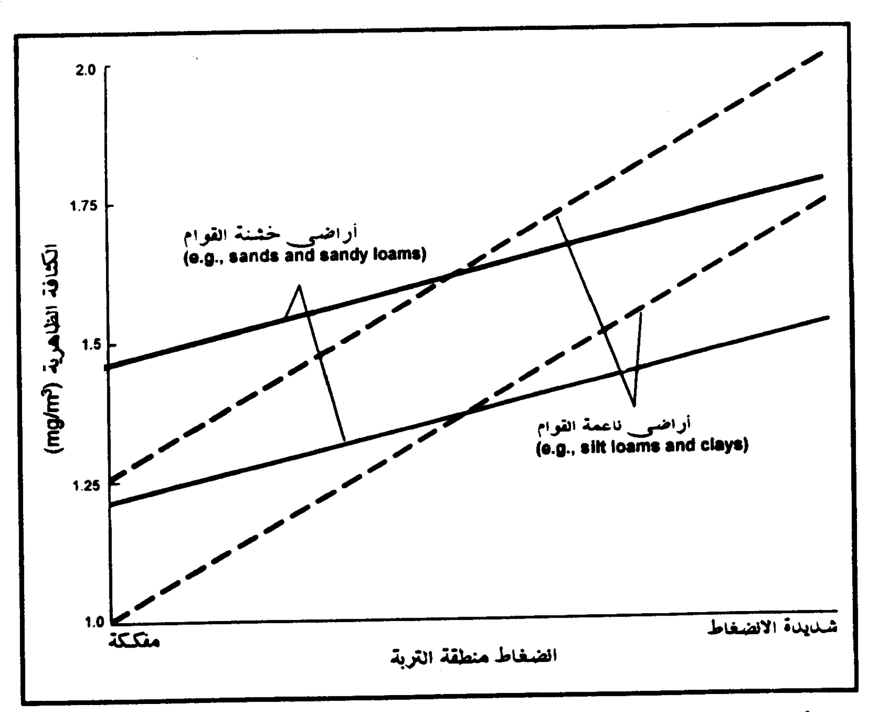
أمـا الأراضـى تحـت السـطحيه المنضغطـه very compact قـد تصـل الكثافـه الظاهريـه بها إلى $2.0\ Mg/m^3$ أو أعلى ولذلك فهذه الأراضـى تمثـل مشـكلة لنمـو جذور النبات .

ويوضح شكل رقم (5-10) العلاقة بين قوام التربه والكثافه الظاهريه والانضغاط Compactness كما يوضح الجدول رقم (5-7) بعض قيم الكثافه الظاهريه للأراضـى ناعمة القوام فى الطبقات السطحيه وتحت السطحيه .

جدول رقم (5-7) : قيم الكثافه الظاهريه للآفاق السطحيه لبعض أنواع الأراضى .

الأفق	قوام الأرض		
	رمليه لوميه	سلتيه لوميه	طينيه
طبقة الحرث	1.72	1.28	1.24
تحت التربه	1.80	1.43	1.51
مادة الأصل	1.85	1.49	1.61

ويلاحظ من الجدول السـابق إرتفـاع قيـم الكثافـه الظاهريـه فـى الآفـاق تحـت السطحيه وذلك نتيجة لإنخفاض محتوى هذه الأفـاق مـن المـاده العضويـه والانضغـاط الذى يسببه وزن الآفاق السطحيه.



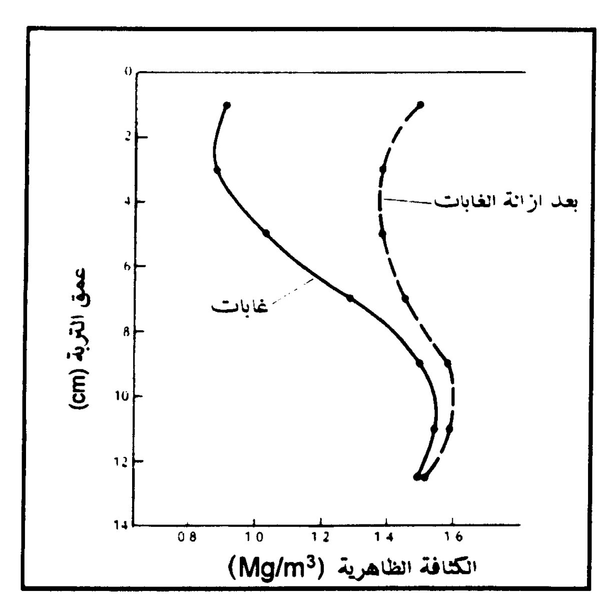
شكل (5-10) :

العلاقه العامه بين الأنضغاط Compactness والكثافه الظاهريه الشائعه فى الأراضي خشنة القوام والأراضي ناعمة القوام . ويلاحظ إنخفاض قيم الكثافه فى الأراضي الناعمه عندما تكون الأراضي غير منضغطه not compacted وإرتفاع قيم الكثافه الظاهريه بها عند إنضغاطها .

ب ـ عمليات الخدمة الزراعية وادارة التربة

تؤثر عمليات الخدمة الزراعية على الكثافه الظاهريه فإضافات الأسمدة العضويه تخفض قيمها بينما إستخدام الآلات الزراعيه الثقيلة يؤدى إلى إنضغاط الأرض مما يرفع قيمة الكثافه الظاهريه .

أيضا تؤثر إدارة التربه والمحاصيل على الكثافه الظاهريه فإزالة الأشجار من الغابات يؤدى إلى زيادة قيم الكثافه الظاهريه (شكل رقم 5-11) كما أن زراعة الأرض بالمحاصيل يؤدى إلى رفع قيم الكثافه الظاهريه (جدول رقم 5-8) .



شكل (5-11) : تأثير إزالة الغابات على الكثافه الظاهريـه للأرض عند أعمـاق مختلفة (Mcintyre *et al.*, 1987) J. Soil Water Conserv. 42: 117-120.

جدول (5-8) : الكثافه الظاهريه لأراضي مزروعه وأخرى غير مزروعة

الأرض	الكثافه الظاهريه (Mg/m^3)		٪ للمسام	
	أرض مزروعه	أرض غير مزروعه	أرض مزروعه	أرض غير مزروعه
orthid - أفق سطحي	1.28	0.98	51.7	63.0
orthid - أفق تحت سطحي	1.38	1.21	47.9	54.3

(٥) مسامية الأرض Soil Porosity

عملية تحول الصخر إلى أرض ينتج عنهـا تفتـت الصخـور إلى حبيبـات وتـترتب هذه الحبيبات الصلبه بطريقه تسمح بوجود فراغات بين حبيبات الأرض تحتـوى على

الماء والهواء. وعادة ما تستخدم كمية الفراغات الموجودة فى الأرض لتقويم صلاحية الأرض كبيئة لنمو النبات .

بوجه عام تحتوى الفراغات (المسام) كبيرة الحجم على الهواء إذا لم تكن الأرض مغمورة بالماء أما الفراغات (المسام) صغيرة الحجم فتحتوى على ماء إذا لم تكن الأرض جافه. أما المسام متوسطة الحجم فيختلف محتواها من الماء والهواء تبعاً لرطوبة وجفاف التربه.

ونسبة المسام فى الأراضى خشنة القوام (الرملية) أقل بكثير من نسبة المسام فى الأراضى الناعمة ومع ذلك نلاحظ سهولة حركة الماء والهواء فى الأراضى الرمليه عنها فى الأراضى الناعمة ويرجع ذلك إلى كبر حجم المسام فى الأراضى الرمليه عنها فى الأراضى ناعمة القوام .

حساب النسبة المئوية للمسام (الفراغات) Pore space فى التربه :

لأشتقاق القانون المستخدم فى حساب النسبة المئويه للمسام فى التربه سوف نفترض ما يلى :

الكثافة الظاهرية = D_b ، حجم الجزء الصلب = V_s

الكثافة الحقيقية = D_p ، حجم الفراغات (Pores) = V_p

وزن الحجم الصلب فى التربه = W_s ، الحجم الكلى للأرض = $V_s + V_p$

من التعريف فإن :

$$D_p = \frac{W_s}{V_s} \quad ، \quad D_b = \frac{W_s}{V_s + V_p}$$

وبحل ما سبق لـ W_s يصبح

$$W_s = D_p \times V_s \quad ، \quad W_s = D_b(V_s + V_p)$$

أى أن

$$D_p \times V_s = D_b\,(V_s + V_p)$$

$$\frac{V_s}{V_s + V_p} = \frac{D_b}{D_p} \quad ،$$

ولما كان :

$$\frac{V_s}{V_s + V_p} \times 100 = \%\ \text{Solid Space}$$

$$\therefore \quad \%\ \text{Solid Space} = \frac{D_b}{D_p} \times 100$$

ولما كان

$$\%\ \text{pore space} + \%\ \text{solid space} = 100$$

$$\therefore \quad \%\ \text{pore space} = 100 - \%\ \text{solid space}$$

$$\textbf{\% Pore Space} = \textbf{100} - \left(\frac{D_b}{D_p} \times 100 \right)$$

وبتطبيق المعادلة السابقه فإن الأرض الرمليه ذات الكثافة الظاهريه $1.5\ g/cm^3$، الكثافة الحقيقيه 2.65 تكون النسبه المئويه للمسام بها % Pore space = 43.4 % .

وبالمثل :

فإن الأرض Silty loam ذات الكثافة الظاهرية $1.30\ g/cm^3$ تكون النسبة المئويه للمسام بها = 50.9 % .

ويوضح الجدول رقم (5-9) العلاقه بين الكثافة الظاهرية والنسبه المئويه للجزء الصلب والنسبه المئويه للمسام فى التربه ويمكن إستخدام الأرقام الموجودة فى الجدول للتمرين على حساب النسبة المئويه للمسام والحقيقة أنه يمكن حساب أى قيمة موجودة فى أى عمود بالجدول بمعلوميه القيم الموجودة فى العمودين الأخرين . فمثلاً يمكن حساب النسبة المئويه للجزء الصلب من التربه كما يلى :

$$\%\ \textbf{Solid} = \left(\frac{D_b}{D_p} \times 100 \right) = \frac{1}{2.65} \times 100 = 37.74\ \%$$

جدول (5-9) : العلاقه بين الكثافة الظاهرية ، النسبة المئويه للجزء الصلب ، النسبة المئويه للمسام لأراضى ذات كثافة حقيقية $2.65\ g/cm^3$.

الكثافة الظاهرية جم / سم٣	٪ للجزء الصلب	٪ للمسام
1.0	38	62
1.2	45	55
1.4	53	47
1.6	60	40

العوامل المؤثرة على المسامية الكلية

Factors Affecting Total Pore Space

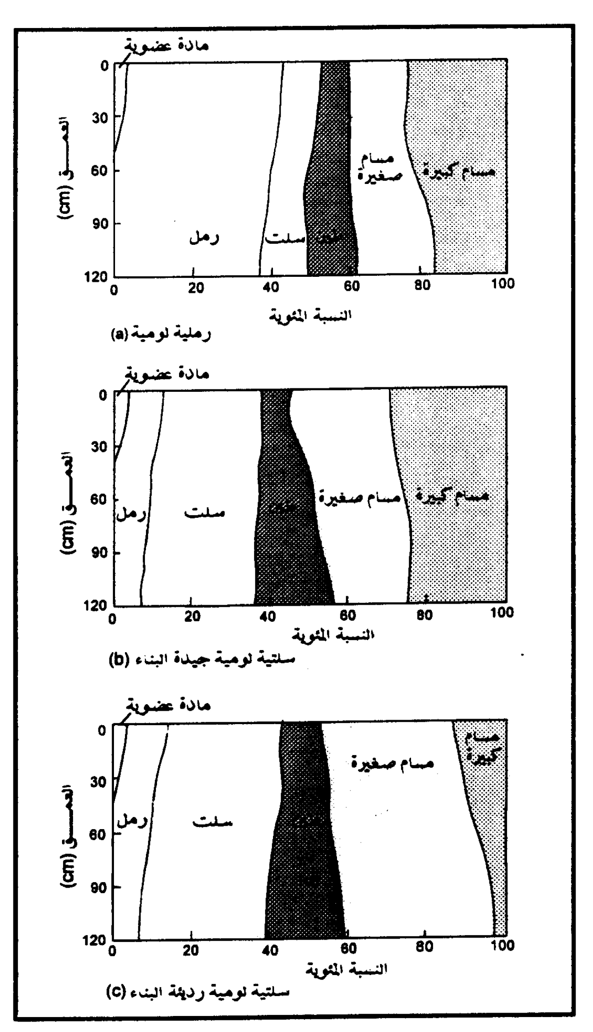
تختلف النسب المئويه للمسام فى الأراضى أختلافاً كبيراً ففى الأراضى الرملية السطحيه تتراوح بين %50-35 بينما فى الأراضى المتوسطة والناعمة القوام تتراوح بين %60-40 (شكل 5-12) أيضاً تختلف النسب المئويه للمسام فى الأراضى مع العمق فتتراوح فى الآفاق تحت السطحيه المنضغطة بين %30-25 .

وكما هو الحال فى الكثافة الظاهرية فإن زراعة الأرض بالمحاصيل لفترة كبيرة يؤدى إلى خفض المساميه الكليه (الجدول السابق) ويعزى ذلك إلى إنخفاض محتوى الأرض من المادة العضوية وما يتبع ذلك من إنخفاض درجة تحبب التربه granulations .

حجم الفراغات أو المسام Size of Pores

يوجد نوعين من المسام فى التربه هما :

- Macro pores مسام كبيرة : وهى المسام ذات القطر الأكبر من 0.06 mm .
- Micro pores مسام صغيرة : وهى المسام ذات القطر الأصغر من 0.06 mm .



شكل (12-5) : التوزيع الحجمى للمادة العضوية والرمل والسلت والطين وأيضاً للمسام كبيرة الحجم، المسام صغيرة الحجم فى أرض رمليه لوميه (a) وأرض سلتيه لوميه ذات بناء جيد (b) وأرض سلتيه لوميه ذات بناء ضعيف (c) ويلاحظ ما يلى :

- **الأرض السلتيه اللوميه تحتوى على مساميه كليه أكبر من الأرض الرمليه اللوميه .**
- **الأرض السلتيه اللوميه ذات البناء الضعيف تحتوى على مساميه أقل من الأرض السلتيه اللوميه ذات البناء الجيد ولكن المسام بها تكون من النوع كبير الحجم macro pores .**

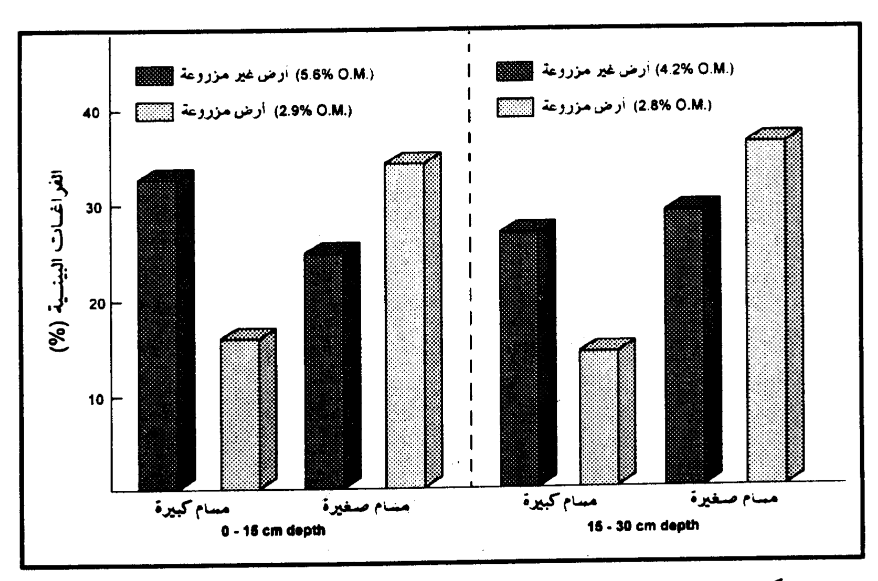
تسمح المسام كبيرة الحجم بحركة الماء والهواء فى التربه بينما نجد أن المسام صغيرة الحجم تكون غالباً مملوءة بالماء فى الأرض المبتله (الرطبه) بدرجة لا تسمح بمرور الهواء من وإلى التربه . ولذلك فالبرغم من أن إحتواء الأرض الرمليه على نسبه مسام قليلة فإن حركة الماء والهواء بها تكون سريعة نتيجة لسيادة المسام كبيرة الحجم بها . ومن الناحية الأخرى فإن الأراضى ناعمة القوام ذات البناء الحبيبى تكون حركة الماء والهواء بها ضعيفه بالرغم من أن المساميه الكليه بها تكون كبيرة وذلك لسيادة المسام صغيرة الحجم بها والتى تكون غالباً مملوءة بالماء . ويتضح مما سبق أن قطر المسام أكثر أهمية من المساميه الكلية فى تحديد حركة الماء والهواء بالتربه .

الزراعة المستمرة Continous Cropping

تؤدى الزراعة المستديمة continous cropping وخاصة فى الأراضى ذات المحتوى العالى من المادة العضوية إلى خفض الفراغات ذات الأحجام الكبيرة وكذلك محتوى التربه من المادة العضوية . وقد أوضحت التجارب التى أجريت فى أرض ناعمة القوام إلى أن زراعة الأرض بالمحاصيل لمدة أربعون عاماً أدى إلى خفض كمية الفراغات ذات الأحجام الكبيرة macro pores إلى النصف (شكل رقم 5-13) .

(٦) تماسك التربه Soil Consistence

تماسك التربه هو تعبير يستخدم لوصف مقاومة الأرض عند مستويات رطوبه مختلفه للضغوط الميكانيكية mechanical stresses أى أنه يعبر عن درجة التحام حبيبات التربه ببعضها Coherence والتصاقها بالأجسام الأخرى Adhesion وقدرة التربه على تغيير شكلها تحت تأثير ضغط خارجي والحفاظ على الشكل الجديد Deformation . ونظراً للتأثير الكبير للرطوبه على تماسك التربه فإنه يوصف عند ثلاث مستويات من الرطوبة وهى الحاله المبتله Wet والرطبه Moist والجافه Dry . وبوجه عام يقل تماسك التربه بزيادة نسبة الرطوبه بها . ويوضح الجدول التالى الاصطلاحات المستخدمة فى وصف تماسك التربه .



شكل (5-13) :
تأثير زراعة الأرض لمدة أربعون عاماً (Tilled soils) على الفراغات ذات الأحجام الكبيرة macro pores . و يلاحظ أيضاً تأثير الزراعة على محتوى الأرض من المادة العضوية .

(٦) تماسك التربه Soil Consistence

تماسك التربه هو تعبير يستخدم لوصف مقاومة الأرض عند مستويات رطوبه مختلفه للضغوط الميكانيكية machanical stresses أى أنه يعبر عن درجة التحام حبيبات التربه ببعضها Coherence والتصاقها بالأجسام الأخرى Adhesion وقدرة التربه على تغيير شكلها تحت تأثير ضغط خارجى والحفاظ على الشكل الجديد Deformation . ونظراً للتأثير الكبير للرطوبه على تماسك التربه فإنه يوصف عند ثلاث مستويات من الرطوبة وهى الحاله المبتله Wet والرطبه Moist والجافه Dry . وبوجه عام يقل تماسك التربه بزيادة نسبة الرطوبه بها . ويوضح الجدول رقم (5-10) التالى الاصطلاحات المستخدمة فى وصف تماسك التربه .

جدول (5-10) : المصطلحات المستخدمة فى وصف تماسك التربه .

الأراضى المبتله Wet Soils		الأراضى الرطبه Moist Soils	الأراضى الجافه Dry Soils
الإلتصاق Stickness	اللدانه Plasticity		
غير ملتصقه Nonsticky	غير لدنه Nonplastic	مفككه Loose	مفككه Loose
قليلة الإلتصاق Slightly sticky	قليلة اللدانه Slightly plastic	شديدة القابليه للتفكك Very friable	ناعمه Soft
ملتصقه Sticky	لدنه Plastic	قابلة للتفكك Friable	قليلة الصلابه Slightly hard
شديدة الإلتصاق Very sticky	شديدة اللدانه Very plastic	متماسكه Firm	صلبه Hard
		متماسكه جداً Very firm	صلبه جداً Very hard
		شديدة التماسك Extremely firm	شديدة الصلابه Extremely hard

ولشرح الجدول السابق سوف نتناول بعض التعريفات الهامه :

درجة الالتصاق Stickness :

وهى تعبر عن درجة التصاق حبيبات التربه بالأجسام الأخرى كأصابع اليد أو سلاح المحراث .

درجة اللدانه Plasticity :

وهى تعتبر عن قدرة التربه على تغيير شكلها تحت تأثير ضغط خارجى وإحتفاظها بالشكل الجديد بعد إزالة الضغط الخارجى .

أمثلة :

- الأراضى الطينيه فى الحالـه المبتله عادة ما تكون ملتصقه Sticky أو شديدة الإلتصاق وتكون لدنه Plastic أو شديدة اللدانه Very plastic.

- الأراضى الرمليه فى الحاله المبتله عادة ما تكـون غـير ملتصقـه Nonsticky وغـير لدنه Nonplastic .
- الأراضى الطينيه فى الحاله الرطبه عادة مـا تكـون شـديدة التماسـك Extremely firm.
- الأراضى الرمليه فى الحاله الرطبه Moist عادة ما تكون مفككه Loose .
- الأراضى الطينيه فى الحاله الجافه قد تكون صلبه أو صلبه جداً أو شديدة الصلابـه ويتوقف ذلك على درجة التصاق الحبيبات بعضها ببعض Coherence.
- الأراضى الرمليه فى الحاله الجافه Dry عادة ما تكون مفككه Loose .

وتماسك التربه له قيمه عمليه كبيرة لأنه يصف خواص التربه المتعلقـه بأستخدام الألآت الزراعيه فى عمليات الخدمة المختلفه مثل الحرث والتزحيف وخلافه .

(٧) لون التربه Soil Color

يعتبر لون التربه من أكثر خواص التربه وضوحاً وأسهلها فى القيـاس ويفيـد فـى تحديد الحدود الفاصله بين طبقات قطاع التربه وكذلك فى الاسـتدلال علـى ظـروف الابتلال والحاله الغدقه والمحتوى العضوى وتراكم الأملاح - أى أن لون التربه يعكس حاله الصرف وظروف التهويـه ومسـتوى المـاء الأرضـى كمـا أنـه يعكـس الـتركيب المعدنى والعضوى للتربه. ويتأثر لون التربه كثيراً بأختلاف نسبة الرطوبه بها لذا يقاس بالحقل فى الحالتين الجافه والمبتله.

وعلى سبيل المثال نذكر ما يلى :

- **اللون الغامق Dark coloring**

  ينتج عن إضافة المادة العضوية أو زيادة الرطوبه وأحياناً وجود أكاسيد المنجنيز MnO_2.

- **اللون الأحمر Reddening**

  ينتج من هدم معادن التربه وإنفراد أكاسيد الحديد الحرة .

- **اللون الفاتح Lightening**

  ينتج من تجمع كربونات الكالسيوم والجبس والأملاح الذائبه .

• **ألوان التبقع Mottling والأختزال Gleying**

تنتج من أختزال وأكسدة أكاسيد الحديد والمنجنيز بالأراضى الغدقه Water logged نتيجه تذبذب مستوى الماء الأرضى .

ويلاحظ أن الأراضى الجافه Arid soils تميل الى اللون الفاتح بعكس الأراضى المتكونه تحت مناخ أكثر رطوبه وذلك نتيجه قلة محتوى هذه الأراضى من المادة العضويه وأكاسيد الحديد الحره .

ويتم تقدير لون التربه عن طريق مقارنه لون التربه بالألوان القياسيه الموجودة فى كتاب الألوان Munsell Color Charts ونظراً لأن نوع وشدة الضوء الساقط على العينه يؤثران على نوع وكميه الضوء المنعكس منها لذا يراعى قياس لون التربه فى ضوء الشمس العادى أثناء النهار .

تحسين بناء التربه Improvement of Soil Structure

الأراضى خشنة القوام Coarse Textured Soils

على الرغم من عدم وجود طريقه عمليه لتحسين بناء الأراضى خشنة القوام إلا أن إضافة المادة العضويه يساعد على تحسين بناء هذه الأراضى وذلك لأن المادة العضويه تعمل على ربط الحبيبات ببعضها وزيادة قدرة الأرض على الأحتفاظ بالماء. وأهم مصادر المادة العضويه التى يجب أضافتها إلى الأراضى خشنة القوام هى السماد العضوى (سماد المزرعه) ومخلفات المحاصيل .

الأراضى ناعمة القوام Fine Textured Soils

ينحصر تحسين بناء التربه للأراضى ناعمة القوام فى الخطوات التاليه :

١. إضافة المادة العضوية مثل السماد العضوى ومخلفات المحاصيل يساعد على الحفاظ على البناء الجيد للتربه .

٢. إختيار الوقت المناسب بدقه لإجراء عمليه الحرث تبعاً لدرجة رطوبه التربه فحرث الأرض وهى مبتله قد يؤدى إلى غلق المسام فى الأتربه الطينيه وتصبح غير منفذة كما أن حرثها وهى جافه تماماً لايؤدى إلى تحضير مهد جيد للبذور .

٣. أستخدام الدورة الزراعية Rotation وزراعة محاصيل الأعلاف (الحشائش) فى الدورة الزراعية يؤدى إلى تحسين بناء التربه والحفاظ عليها ويوضح الجدول رقم (11-5) . تأثير نظم زراعة المحاصيل المختلفه على ثبات الحبيبات المركبه Aggregates .

جدول (11-5) : تأثير الدورة الزراعية واستزراع محاصيل مختلفه على ثبات الحبيبات المركبه.

المحصول	٪ الحبيبات المركبه	
	صغيرة (أقل من 1mm)	كبيره (1mm فأكثر)
ذرة مستمره	91.2	8.8
ذرة فى الدورة الزراعية	76.7	23.3
أعلاف فى دورة زراعية	57.8	42.2
أعلاف مستمره	43.0	57.0

مراجع الفصل الخامس

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company New York.

Foth, H.D. (1990). Fundamental of Soil Sciences. John Wiley & Sons Inc. New York.

Harris, R.F.; G. Chesters, O.N. Allen, and O.J. Attoe (1964). Mechanisms Involved in Soil Aggregate Stabilization by Fungi and Bacteria. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 529 - 532.

Hillel, D. (1980). Fundamental of Soil Physics. Academic Press. New York.

Hillel, D. (1982). Application of Soil Physics. Academic Press. New York.

Miller, W.R., R.L. Donahue and J.M. Miller (1990). Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice - Hall International, Inc. N.J.

Russell., E.W. (1971). Soil Stucture : Its Maintenance and improvement . J. Soil Sci. 22: 137 - 151.

Troeh, F. R. and T. M. Thompson. (1993). Soils and Soil Fertility. Oxford Univ. Press. New York.

White, R.E. (1987). Introduction to the Principles and Practices of Soil Science Blackwell Scientific Publication Oxford.

الفصل السادس

مـاء الأرض

Soil Water

- خـواص المــاء
- الخاصية الشعرية وماء الأرض
- طاقة وجهد ماء الأرض
  - جهد الجاذبية - جهد الشد - الجهد الأسموزى
- التعبير عن أحوال الرطوبة الأرضية وطرق تقديرها
  - التشبع - السعة الحقلية - معامل الذبول - المعامل الهيجروسكوبى
- حركة الماء فى الأراضى
- كيفية إمـداد النبات بالمـاء
- نمط إستهلاك وكفاءة إستخدام الماء



6

مــــاء الأرض

Soil Water

الماء ضرورة أساسيه لكل أنواع الحياه ولذلك فإن دراسة علاقات المـاء والأرض هامه جدا للأسباب الآتيه :

أولا : كميات كبيرة من الماء يجب توافرها فى الأرض لمواجهة الأحتـيـاجات المائيه لنمو النبات وذلك لتعويض كميات المـاء الكبـيرة التى يفقدهـا النبـات عـن طريق النتح .

ثانيـا : الماء يعتبر مذيبا جيدا للأمـلاح الموجـودة فى الأرض مكـونا المحلول الأرضى الذى منة يمتص النبات العناصر الغذائيه اللازمه لنموه .

ثالثـا : الماء ضرورة هامه لحركة ونشاط ميكروبات التربه .

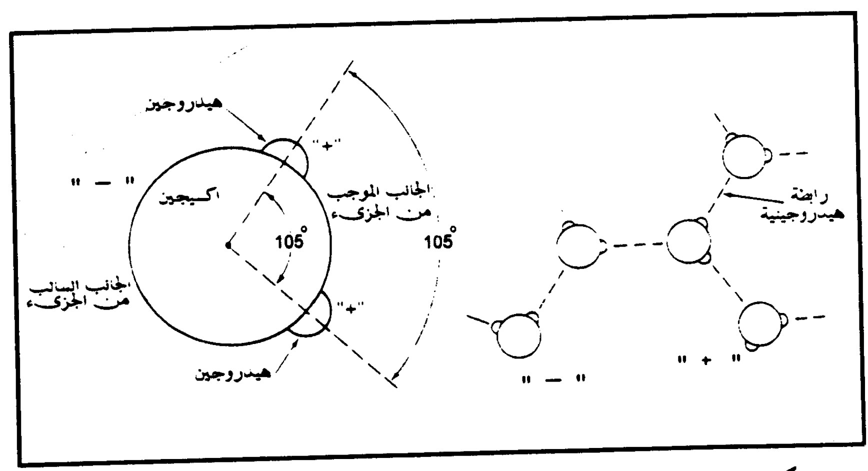
رابعـا : تتحكم الرطوبه الأرضيه soil moisture فى عـاملين أسـاسين هـامين لنمـو النبات وهما هواء الأرض ، درجة حرارة الأرض .

خامسا : عند إضافة كميات زائدة من الماء إلى الأرض يتسـرب جزء منه داخل التربه وجزء يجرى على سطح التربه بيسمى ماء الجريان السطحى water run-off. والتحكم فى ماء الجريان السطحى يحدد بدرجة كبيرة مـدى إنجـراف التربـه بالماء وكمية حبيبات التربه المنقوله إلى البحيرات والمحيطات .

خـواص المـــاء

يساهم الماء مساهمه مباشرة فى كثـير مـن التفـاعلات التـى تحـدث فـى الأرض والنبات . وترجع قدرة الماء على المساهمه فى التفاعلات إلى الـتركيب البنـائى للمـاء water structure. فجزىء الماء يتكون من ذره اكسجين ، ذرتى هيدروجين يرتبطان

بالأكسجين بروابط تعاونيه . وتترتب الذرات فى جزىء الماء على شكل حرف V مكونه زاويه مقدارها 104.5° (شكـــل رقـم 6-1) . وترتيـب ذرات المـاء بالشـكل السابق ذكره يؤدى إلى وجود نوعين من الشحنات على جزىء الماء . فالجانب الذى يحتوى على ذرات الهيدروجين يحمل شحنه موجبه بينما الجانب الأخر (الأكسـجين) يحمل شحنه سالبه . أى أن الماء يحتوى على قطبين أحدهما موجب ، والآخر سـالب ولذلك فجزىء الماء يطلق عليه الجزىء القطبى polar molecule . وتعتبر قطبية المـاء water polarity هى المسئوله عن جميع التفاعلات التى تحدث فى الأرض والنبات .



شكل (6-1) : جزىء الماء القطبى (كلمة قطبى polar يعنى عدم وجود مركز center فى الجزىء تكون فيه قيمة الشحنه = صفر) (Miller *et al.*, 1990) .

(i) القطـبيه Polarity

يمكن عن طريق خاصية القطبيـه للمـاء شـرح كيفيـة تفـاعل جزيئـات المـاء مـع بعضهـا. فجزيئـات المـاء تتفـاعل مـع بعضهـا عـن طريـق إنجـذاب الشـحنه الموجبـه (الهيدروجين) الموجودة بجزىء ماء إلى الاكسجين الخـاص بجـزىء مـاء أخـر والـذى يحمل شحنه سالبه وينتج عـن تكـرار ذلـك تكويـن مجموعـة سلسـليه تسـمى بوليمـر polymer . أيضا عن طريق الخاصيه القطبيه للماء يمكن شرح كثير من خصائص الماء

مثل إنجذاب جزيئات الماء اليكتروستاتيكيا إلى الأيونات ذات الشحنه . فكاتيونات Na^{+}, H^{+}, Ca^{2+} تصبح متأدرته في وجود الماء نتيجة إنجذاب أكسجين الماء الذى يحمل شحنه سالبه إلى هذه الكاتيونات . أيضا إنجذاب جزيئات الماء إلى سطوح الطين الحامله لشحنه سالبه يتم عن طريق ذرات هيدروجين الماء الذى يحمل شحنه موجبه . بالإضافه إلى أن الخاصيه القطبيه للماء تعمل وتساعد على ذوبان الأملاح وذلك لقابلية أيونات الأملاح للإنجذاب لجزيئات الماء بدرجة أكبر من الإنجذاب لأيونات الأملاح نفسها .

عند إنجذاب جزيئات الماء إلى الأيونات ذات الشحنه الإليكتروستاتيكيه أو إلى حبيبات الطين فإنها تصبح منضغطه بدرجة أكبر منها مما لو كانت في حالة حرة ولذلك فإن إنجذابها إلى الحبيبات ذات الشحنه يؤدى إلى وجودها في مستوى طاقة أقل مما لو كانت في حالة حرة ولذلك ينتج عن تأدرت الأيونات والطين إنطلاق طاقه ويطلق عليه حرارة المحلول heat of solution في حالة تأدرت الأيونات ، حرارة الابتلال heat of wetting في حالة تأدرت حبيبات الطين .

(ii) الرابطه الهيدروجينيه

إرتباط جزيئات الماء ببعضها يتم عن طريق ذرة الهيدروجين أى أن ذرة الهيدروجين تربط بين جزئين ماء ولذلك يطلق على هذه الرابطه بالرابطه الهيدروجينيه. وهذه الرابطه في الواقع هى المسئوله عنه بلمرة polymerization الماء وكذلك عن ارتفاع درجة غليان الحرارة النوعيه ولزوجة الماء بالمقارنه مع المركبات الأخرى التى لا تحتوى على رابطه هيدروجينيه مثل H_2S . أيضا تعتبر الرابطه الهيدروجينيه هى المسئوله عن صلابة بعض بلورات الطين وعن التركيب البنائى لبعض المركبات العضويه مثل البروتين .

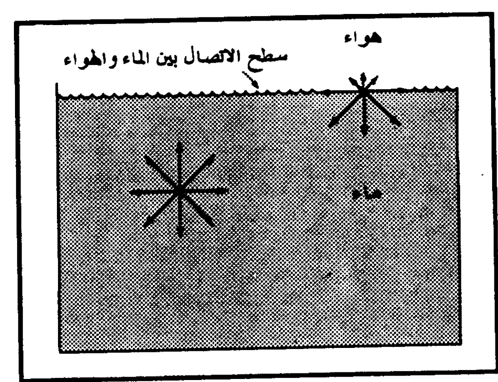
تلعب الرابطة الهيدروجينيه دورا هاما في القوتين الرئيسيتين المسئولتين عن مسك وحركة الماء وهما :

Cohesion : ويطلق على قوة تجاذب جزيئات الماء بعضها ببعض .
adhesion : وتطلق على قوة تجاذب جزيئات الماء للسطوح الصلبه والتى يتم عن طريقها مسك جزيئات الماء على السطوح الصلبه .

ولذلك نجد أن هاتين القوتين cohesion ، adhesion تعملان على مسك الحبيبات الصلبه لجزيئات الماء وبالتالى تتحكمان فى حركة الماء فى التربه . كما أن هاتين القوتين تعملان على إكتساب الطين خاصيه اللدانه plasticity .

(iii) التوتر السطحى Surface Tension

يعتبر التوتر السطحى أحد خصائص الماء الذى يؤثر بدرجة كبيرة على سلوك الماء . وتظهر خاصية التوتر السطحى للماء بوضوح على السطح الفاصل بين السائل والهواء وتنشأ نتيجة قوة التجاذب الكبيرة بين جزيئات الماء بعضها ببعض حيث يبدو سطح الماء كما لو كان مغطى بغشاء مطاطى مشدود وذلك لأن قوى تجاذب جزيئات الماء (cohesion) تكون إلى الداخل (شكل 6-2) . أيضا نتيجة قوة التجاذب الكبيرة بين جزيئات الماء نجد أن التوتر السطحى للماء أعلى من التوتر السطحى لمعظم السوائل الأخرى وسوف نوضح فى الصفحات القادمه أهمية التوتر السطحى للماء فى الخاصيه الشعريه التى تحدد كيفية حركة الماء فى التربه .



شكل (2.5) :

القوى المؤثرة على جزيئات الماء على السطح وأسفل السطح . فالقوى المؤثرة أسفل السطح تكون متساويه فى جميع الإتجاهات لأن جزيئات الماء تجذب بعضها بقوى متساويه . أما عند السطح فتنجذب جزيئات الماء لبعضها بقوى أكبر من إنجذاب جزيئات الماء للهواء والنتيجه أن محصله القوى تكون إلى أسفل ناحية الماء وهذا مايطلق عليه التوتر السطحى Surface Tension .

الخاصيه الشعريه وماء الأرض Capillarity and Soil Water

المثال الشائع لحركة الماء بالخاصيه الشعريه هو حركة الماء لأعلى فى أنبوبه مفتوحة الطرفين عند غمس أحد طرفى أنبوبه فى الماء نتيجة قوتين :

أ) قوة التجاذب بين الماء وسطوح الحبيبات الصلبه مثل جدران القنوات التى يتحرك فيها الماء(adhesion) .

ب) التوتر السطحى للماء والذى ينشأ نتيجة التجاذب بين جزيئات الماء وبعضها (cohesion) .

ميكانيكيه حركة الماء بالخاصيه الشعريه :

يمكن توضيح حركة الماء بالخاصيه الشعريه وذلك بوضع أحد طرفى أنبوبه زجاجية رفيعة فى الماء فيلاحظ أرتفاع الماء فى الأنبوبه ويزداد أرتفاع الماء كلما كان قطر الأنبوبه صغيرا (شكل 6-3) . وتفسير ذلك هو إنجذاب جزيئات الماء إلى جدران الأنبوبه وأرتفاعه فى الأنبوبه نتيجه لذلك الأنجذاب . ومن الناحيه الأخرى فإن جزيئات الماء غير الملامسه لجدران الأنبوبه تنجذب بعضها لبعض وتعمل على دفع الماء لأعلى فى الأنبوبه ويستمر ذلك حتى يعادل وزن الماء فى الأنبوبه (قوة الجاذبيه لأسفل) قوى التجاذب adhesive & cohesive forces لأعلى .

يتناسب طول أرتفاع الماء فى الأنبوبه الشعريه تناسبا عكسيا مع قطر الأنبوبه وطرديا مع التوتر السطحى الذى يتوقف بدرجة كبيرة على قوى التجاذب بين جزيئات الماء وبعضها cohesion . ولذلك فأرتفاع الماء بالخاصيه الشعريه يمكن التعبير عنه كما يلى :

$$h = \frac{2T}{rdg}$$

حيث :

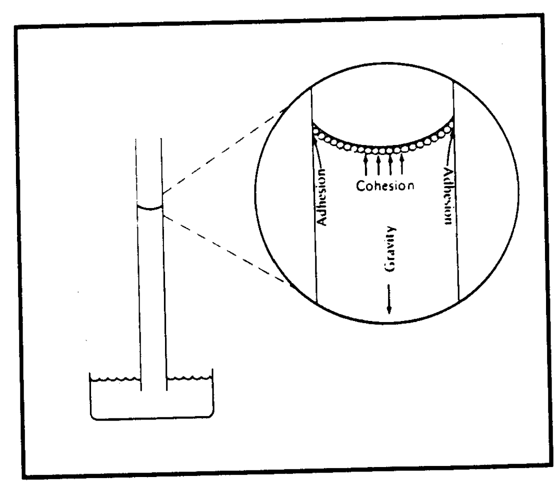
h - طول أرتفاع الماء فى الأنبوبه .
T - التوتر السطحى .
r - نصف قطر الأنبوبه .

d = كثافة السائل .
g = تسارع الجاذبيه الأرضيه .

وبالنسبه للماء يمكن إختصار المعادله السابقه إلى :

$$h = \frac{0.15}{r}$$

وتوضح هذه المعادله العلاقه العكسيه بين طول أرتفاع الماء فى الأنبوبه ونصف قطر الأنبوبه التى يرتفع فيها الماء .



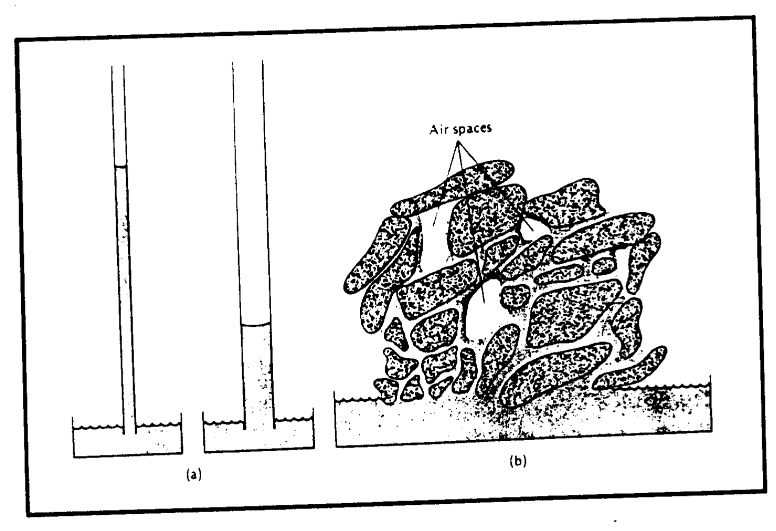
شكل (6-3) :

رسم تخطيطى يوضح الخاصيه الشعريه ويظهر فى الرسم المكبر حركة الماء أعلى الأنبوبه نتيجة قوى التجاذب بين جزيئات الماء وجدار الأنبوبه (adhesion) وقوى التجاذب بين جزيئات الماء وبعضها cohesion . ويستمر أرتفاع الماء فى الأنبوبه حتى تتعادل قوى الجاذبيه لأسفل مع قوى التجاذب لأعلى .

حركة الماء فى الأرض بالخاصيه الشعريه :

يتحرك الماء فى الأرض بالخاصيه الشعريه فى جميع الأراضى الرضبه . ومع ذلك فإن معدل حركة الماء وأرتفاع الماء فى التربة يكون أقل من المتوقع حدوثه تبعا لصغر حجم مسام التربه . والسبب فى ذلك يرجع إلى أن مسام التربه لا تتواجد فى

مسار مستقيم ومتجانس بالإضافه إلى أن بعض مسام التربـه تكـون مملـؤة بـالهواء ممـا يؤدى إلى إبطاء حركة الماء بواسطة الخاصيه الشعريه شكل (6-4) .

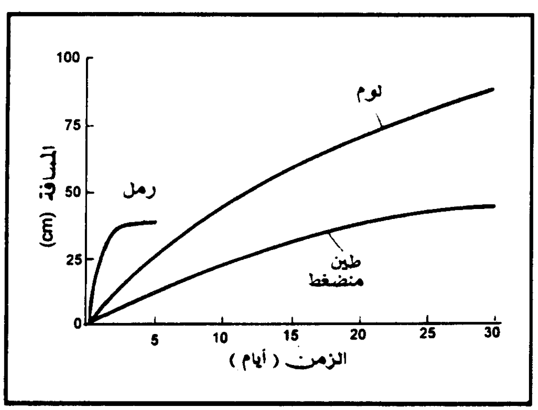


شكل (4.5) :

حركة الماء بالخاصيه الشعريه فى : (a) أنابيب زجاجية مختلفة الأحجام .
(b) فى الأرض .

وعلى الرغم من أن ميكانيكه حركة الماء فى الأنابيب والتربـه واحـدة الا أن حركـة المـاء فـى التربه بالخاصيه الشعريه تكون أقـل منهـا فـى الأنـابيب نتيجـة لإلتـواء مسـار المـاء فـى التربـه وإختلاف أحجام المسام ووجود الهواء فى بعض مسام التربه .

يوضح الشكل (6-5) حركة الماء فى الأراضى بالخاصيـه الشـعريه capillarity . ويلاحظ أن طول أرتفاع الماء فى الأراضى ناعمة القوام بالخاصيه الشعريه يكون أكبر من الأراضى خشنة القوام (الرمليه) ولكـن يـأخذ فـترة زمنيـة أطـول ليصـل إلى هـذا الارتفاع . ويفسر ذلك بأن حجم المسام فى الأراضى ناعمة القوام تكون أصغر منهـا فى الأراضى خشنة القوام .



شكل (6-5) :
ارتفاع الماء الأرضى water table خلال أراضى مختلفة القوام . ويظهر الشكل أفضلية مسام الأرض اللومية لحركة الماء بدرجة أكبر من المسام الموجودة فى الأراضى الطينية المنضغطه.

حركة الماء بالخاصيه الشعريه فى الأراضى عادة يتم توضيحها بحركة الماء إلى أعلى ولكن يجب العلم والتنويه أن حركة الماء فى الأراضى بالخاصيه الشعريه تتم فى أى أتجاه فهى تحدث فى الاتجاه الأفقى بنفس الكفاءة التى تحدث بها فى الاتجاه الرأسى طالما أن قوى التجاذب بين مسام التربه الأفقيه والماء تعمل بنفس الكفاءة التى تعمل بها قوى التجاذب بين مسام التربه الرأسيه والماء .

مفهوم طاقة ماء الأرض Concept of Soil Water Energy

يعرف جهد الماء بأنه الشغل الذى يستطيع الماء عمله عندما يتحرك من الحالة الموجود فيها إلى الحالة الحرة (قناة ماء مثلاً) . ولأن الجهد عبارة عن شغل work فهو عبارة عن طاقة وليس ضغط . والماء المدمص على سطح حبيبات التربة أقل حرية فى التحرك من الماء الحر الموجود فى قناة ماء أى أنه أقل قدرة على عمل شغل من الماء الموجود فى حالة حرة . يرمز للطاقة الحرة أقل من الصفر بعلامة سالب (−). وتعنى الطاقة الحرة السالبة أنه لابد من عمل شغل على الماء لإزالته من الأرض (شكل 6-6) .

محتوى الأرض من الماء	علاقات الشغل Work	جهد الماء
	تزيد الطاقة الحره إذا تواحد ماء الأرض فى أرتفاع أعلى من النقطة القياسية ↓	k Pa +
جهد الجاذبيه ↓	الطاقه الحره للماء النقى الحاله القياسية ↓	
أرض رطبه ↓ يقل محتوى الماء فى التربه ↓	طاقه منخفضه يحتاج إلى شغل قليل ↓ يتطلب زيادة الشغل لإزالة الماء من الأرض ↓	↑ Osmotic Matric potential ↓ — عـــالى ↓ منخفض — 0.0- ، 100- ، 200- ، 300- ، 400- ، 600- ، 800- ، 1000- ، 1200- ، 1500- ، 1600-
محتوى التربه من الماء أقل	يتطلب شغل أكبر لإزالة الماء	

أرض جافه = جهد منخفض = محتوى مائى منخفض = ماء ممسوك بقوة كبيرة
= قدره منخفضه للماء لعمل شغل .

أرض رطبه = جهد عالى = محتوى مائــى عالـــى = ماء ممسوك بقوة صغيرة
= قدره عالية للمـاء لعمل شغل .

شكل (6-6) :

رسم تخطيطى يوضح علاقات جهد الماء فى الأرض والشغل المطلوب بذله لإزالة الماء من الأرض . فالماء ذو الجهد العالى يكون أكثر قابليه للحركه فى الأرض من الماء ذو الجهد المنخفض . جهد التجاذب بين حبيبات التربه الصلبه والماء matric potential يساوى صفر فى الأرض المشبعه ولا يساوى مطلقا قيمة موجبه . بإنخفاض جهد الماء تصبح matric optential ذو قيمة سالبه وأيضا الجهد الأسموزى يكون ذو قيمة سالبه ولذلك فأحيانا يطلق على هذين الجهدين إسم الشد tension . قيمة جهد الجاذبيه دائما قيمه موجبه .

حركة الماء فى الأرض وإمتصاص الماء بواسطة النبات وإنتقاله داخل النبات وفقد الماء إلى الجو ما هى الا ظواهر متعلقه بالطاقه . وفى شرحنا لهذه الظواهر فى الصفحات المقبله سوف نستخدم لفظ الطاقه الحره free energy للتعبير عن حالة طاقة الماء وذلك لأن الطاقه الحره تعتبر مجموع أشكال الطاقه المتاحه لعمل شغل work . (والشغل = القوة × المسافة) والشغل لا يحدث الا اذا أثرت القوة لمسافة معينة .

أيضا مستوى الطاقه الحره لمادة ما يعتبر مقياس عام لقابلية هذه المادة للتغير . أيضا فى كلامنا عن الطاقه يجب أن تتذكر دائما أن جميع المواد بما فى ذلك الماء تميل إلى الحركه من الحاله ذات الطاقه الحره العاليه إلى الحاله ذات الطاقه الحره المنخفضه . ومثال ذلك حركة الماء تكون من النقطه ذات الطاقه الحره العاليه (أرض رطبه) إلى النقطه ذات الطاقه الحره المنخفضه (أرض جافه) . ولذلك فمعرفتنا لمستويات الطاقه لمناطق مختلفه من الحقل تمكننا من التنبؤ باتجاه حركة الماء حيث أن إختلاف مستويات الطاقه الحره هو الذى يحدد إتجاه حركة الماء فى الأرض .

القوى المؤثرة على الطاقة الحرة لماء الأرض :

Forces Affecting Free Energy of Soil Water

تتأثر الطاقه الحره لماء الأرض بثلاث قوى هامه هى :

١- قوى تجاذب مادة الأرض الصلبه للماء Matric forces

وتنشأ نتيجة للتجاذب بين حبيبات الأرض الصلبه والماء وهذه القوى تعمل على خفض الطاقه الحره لجزيئات الماء الممسوكه بحبيبات الأرض الصلبه .

٢- القوى الأسموزية Osmotic forces

وتنشأ نتيجة إنجذاب أيونات الأملاح إلى الماء وتعمل هذه القوى على خفض الطاقه الحره للماء فى المحلول الأرضى .

٣- قوة الجاذبيه الأرضية Gravity force

وهذه القوى تعمل على جذب الماء دائما إلى أسفل .

ولذلك فإن الطاقه الحرة لماء الأرض عند نقطه ذات أرتفاع معين فى القطاع

الأرضى يكون أعلى من الطاقه الحره للماء النقى عند نقطه أقل فـى الأرتفـاع وهـذا الفرق فى الطاقه الحره هو الذى يسبب حركة الماء فى التربه .

جهد ماء الأرض Soil water potential

الفرق فى الطاقه الحره لماء الأرض من مكـان إلى مكـان آخـر لـه أهميـة عمليـة كبيرة . ويعرف " الفرق بين الطاقه الحرة لماء الأرض والطاقه الحـره للمـاء النقـى فـى الحالة القياسية بجهد ماء الأرض (Ψ) soil water potential" . وتتكون الطاقه الحـره لماء الأرض من جهد الجاذبيه الأرضيه (Ψ_g) وجهد تجاذب مـادة الأرض الصلبـه مـع الماء (Ψ_m) matric potential والجهد الأسمـوزى (Ψ_o) osmotic potential وجهـد الضغط pressure potential . وهذه الجهود تعمل بطريقـة متكاملـة وخطيـه لتحـدد سلوك ماء الأرض . ويوضح الشكل رقم (6-6) العلاقة بين جهد ماء الأرض والطاقه الحرة ، ويمكن التعبير عن جهد مـاء الأرض كما يلى :

$$\underset{\text{water potential}}{\Psi_w} = \underset{\text{matric potential}}{\Psi_m} + \underset{\text{osmotic potential}}{\Psi_o} + \underset{\text{pressure potential}}{\Psi_p}$$

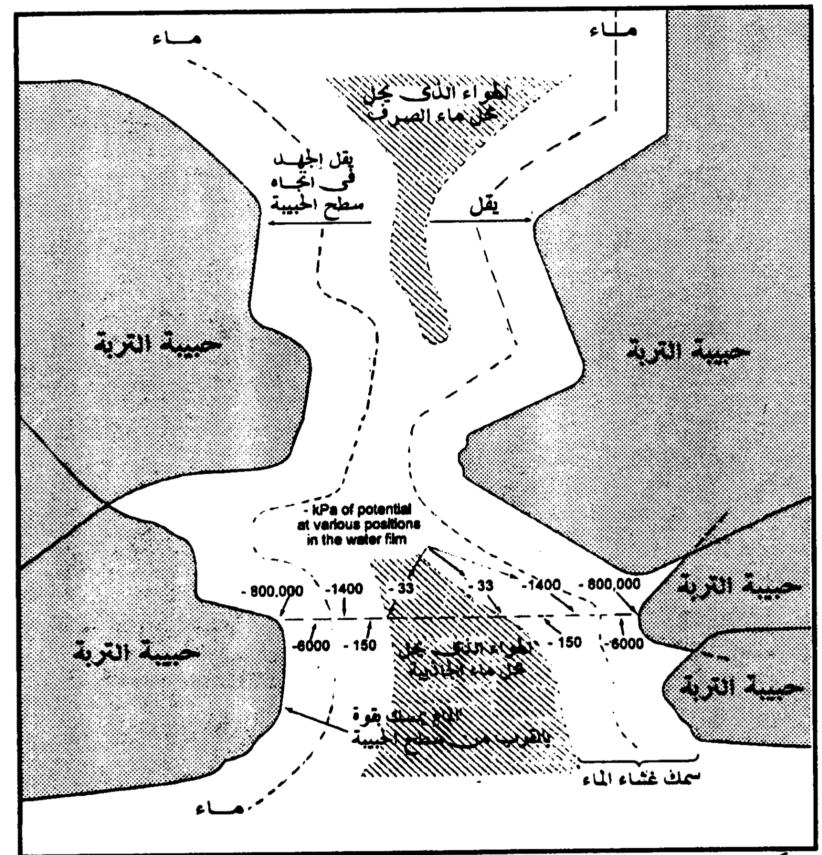
$$\underset{\text{total water potential}}{\Psi_t} = \underset{\text{water potential}}{\Psi_w} + \underset{\text{Gravitational potential}}{\Psi_g}$$

ولأن معظم الأراضى المنتجة لايوجد بها إرتفاع ما من الماء على سـطحها لمـدة زمنية طويلة فـإن :

$$\Psi_{total} \simeq \Psi_w \simeq \Psi_m$$

وفى معظم الأراضى فإن جهد الشـد (Ψ_m) matric يكـون هـو السـائد ويمثـل 95% من الجهد الكلى للماء فى غالبية الأحوال .

ويختلف جهـد المـاء فـى الأرض تبعـاً لقـرب المـاء مـن الحبيبـات الصلبـة فالمـاء الملاصق لحبيبات التربة يكون ذو جهد أقل (أكثر سالبية) 800 M Pa - مثلاً من جهد الماء الموجود بعيداً عن حبيبات التربة (الجهد يكون 10 - to - 30 k Pa) أى أن المـاء الممسوك بقوة كبيرة على سطح حبيبات التربة يكون جهـده ذو قيمـة أكـثر سـالبية . ويوضح الشكل (6-7) تغير جهد الماء تبعـاً لبعد الماء عن سطح حبيبات التربة .



شكل (6-7) :
قطاع عرضى فى أحد مسام التربة (soil pore) وحبيبات التربة الصلبة التى تكون بمثابة جدران له ويوضح القطاع زيادة القوة الممسوك بها الماء كلما قلت المسافة بين الماء وسطح الحبيبات . والماء الموجود على مسافة ما من سطح الحبيبة يكون ممسوكاً بقوة ضعيفة لدرجة يمكن التخلص منه بواسطة قوى الجاذبية (Miller, Utah Univ.) .

جهد الجاذبية Gravitational potential

ينجذب ماء الأرض مثله مثل الأجسام الأخرى إلى مركز الكرة الأرضية بفعل قوى الجاذبيه الأرضيه . ويمكن التعبير رياضيا عن جهد الجاذبيه الأرضيه (Ψ_g)

لماء الأرض كما يلى:

$$\Psi_g = g\,h$$

حيث :

g - عجلة الجاذبيه الأرضيه .

h - أرتفاع ماء الأرض عن المستوى القياسى .

وعادة ما يتم إختبار المستوى القياسى فى حدود القطاع الأرضى وذلك للتأكد من أن قيمة جهد الجاذبيه لماء الأرض سوف يكون دائما قيمه موجبه . وتلعب الجاذبيه دوراً هاماً فى التخلص من الماء الزائد فى منطقة الجذور بعد هطول الأمطار الغزيرة أو الرى .

جهد تجاذب الحبيبات الصلبه والماء والجهد الأسموزى

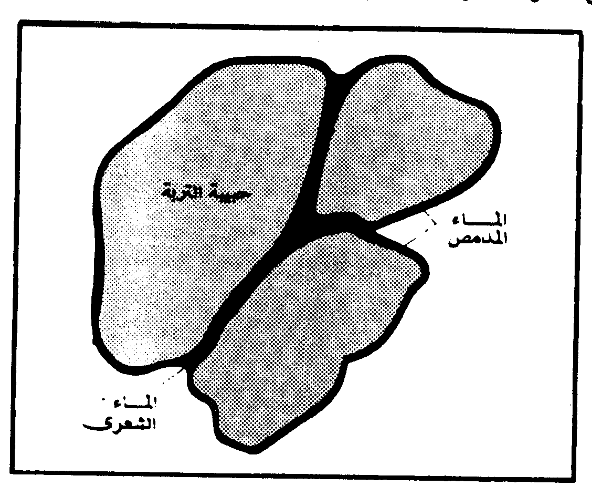
Matric and Osmotic Potentials

جهد الـ matric هو نتيجة ظاهرتى إدمصاص الماء على حبيبات التربه الصلبه (adhesion) وحركة الماء فى مسام التربه بالخاصيه الشعريه (capillarity) (شكل رقم 6-8) والتأثير النهائى لهاتين الظاهرتين هو خفض الطاقه الحره لماء الأرض عن الطاقه الحره للماء النقى غير الممسوك (تساوى صفر) ولذلك قيمة جهد الـ matric دائما قيمه سالبه .

وجهد الـ matric يؤثر بدرجة كبيرة على الماء الممسوك بواسطة التربه وكذلك على حركة الماء فى التربه . فمثلا يتحرك الماء من المنطقه المشبعه بالماء (طاقه حره عاليه) إلى المنطقه الجافه (طاقه حره منخفضه) وهذه الحركه هامه جدا لإمداد جذور النبات باحتياجاته المائيه .

أما الجهد الأسموزى فيعزى إلى وجود المحلول الأرضى الذى يعمل على خفض الطاقه الحره للماء نتيجة لأنجذاب أيونات المحلول إلى الماء . ويوضح الشكل رقم (6-9) العمليه الأسموزيه . فإذا ما أحضرنا أنبوبه على شكل U ووضعنا فى أحد طرفى الأنبوبه (اليسار) ماء وفى الطرف الآخر محلول سكر (اليمين) وتم فصل هذين السائلين بغشاء منفذ للماء وغير منفذ للسكر الذائب . سوف نجد أن الماء سوف

يتحرك من الجانب الذى فيه الماء إلى الجانب الذى يحتوى على المحلول ولما كان السكر يعمل على خفض الطاقه الحره للماء فسوف تتحرك كمية أكبر من الماء إلى ناحية اليمين وبذلك سوف يرتفع المحلول فى الأنبوبه والفرق بين مستوى الماء والمحلول فى الأنبوبتين هو الذى يمثل الجهد الأسموزى .

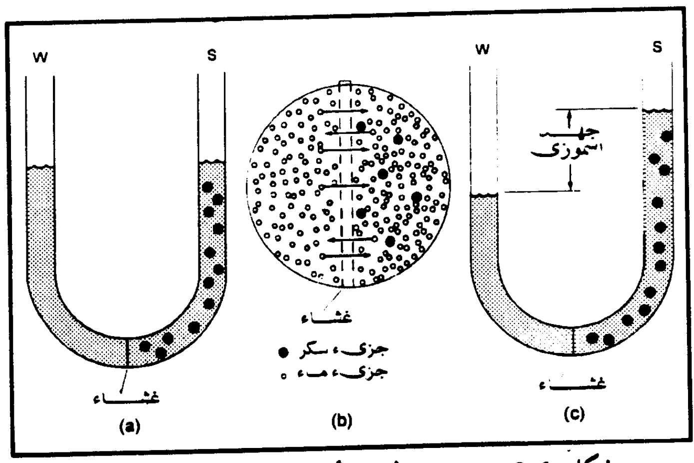


شكل (6-8) : جهد الـ matric ينشأ نتيجة الماء المدمص adsorbed water ، الماء الشعرى capillary water .

ويعتبر تأثير الجهد الأسموزى (Ψ_o) على حركة الماء فى الأرض ضعيفا وينحصر تأثيره أساسا على إمتصاص الماء بواسطة النبات وذلك بعكس تأثير جهد الشد matric (Ψ_m) ففى الأراضى ذات المحتوى العالى من الأملاح الذائبه فإن الجهد الأسموزى للمحلول الأرضى قد يكون أعلى من الجهد الأسموزى فى خلايا جذور النبات مما يؤدى إلى صعوبة إمتصاص النبات للماء .

والشكل (6-10) يوضح الجهد الأسموزى وجهد الشد matric وعلاقتهما بالجهد الكلى لماء الأرض . ولتوضيح هذه العلاقة سوف نفترض وجود وعاء يحتوى على أرض رطبه وماء نقى يفصل بينهما غشاء منفذ للماء فقط (شكل 6-10 A)

ويتصل الماء النقى بوعاء يحتوى على زئبق بواسطة أنبوبه . سوف يتحرك الماء إلى التربه نتيجة لجهد الشد matric والجهد الأسموزى وينتج عن ذلك أرتفاع الزئبق فى الأنبوبه وهذا الأرتفاع يعتبر مقياس للتأثير المزدوج الناتج من الجهد الـ matric والجهد الأسموزى .

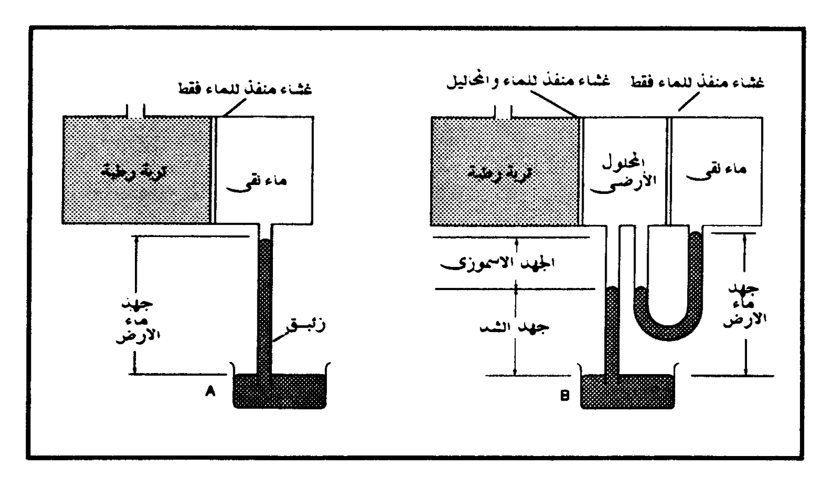


شكل (6-9) : يوضح الجهد الأسموزى (Brady, 1990) .

وعند وضع وعاء بين التربه والماء النقى ويفصل بين هذا الوعاء والوعاء الذى يحتوى على أرض غشاء منفذ للماء والأملاح (شكل 6-10) فإن كلا من الماء والأملاح سوف ينفذان من الغشاء ناحية اليمين وتدريجيا سوف يمتلىء الوعاء بالمحلول الأرضى والفرق بين الطاقه الحره للماء النقى والطاقه الحره للمحلول الأرضى هو عباره عن الجهد الأسموزى . أما جهد الشد matric فنعتبر أنه أرتفاع عمود الزئبق فى الأنبوبه (شكل 6-10 B) .

وحدات التعبير عن مستويات الطاقه لماء الأرض

يستخدم عدد من الوحدات للتعبير عن الفرق فى مستويات طاقة ماء الأرض . والتعبير الشائع عن الجهد هو الأرتفاع بالسنتيمتر لوحدة عمود ماء وزنه يعادل الجهد. أى أن الجهد القياسى يزيد بزيادة أرتفاع عمود الماء .



شكل (6-10) : العلاقه بين الجهد الأسموزى وجهد الشد matric والجهد الكلى لماء الأرض (Brady, 1990) .

أيضا يتم التعبير عن جهد ماء الأرض باستخدام الضغط الجوى القياسى عند مستوى سطح البحر ويساوى 760 mm Hg ، 1020 cm من الماء أو يعبر عنه بالوحدة bar (millibar =1/1000 bar) ، الوحدة القياسية الدولية SI units هى ميجا باسكال (M Pa) وتساوى 10 bars . ويوضح الجدول رقم (6-1) العلاقة بين الثلاث وحدات المستخدمه للتعبير عن جهد ماء الأرض .

التعبير عن أحوال الرطوبه الأرضيه

للتعرف على أحوال الرطوبه الأرضيه والتعبيرات المستخدمه لوصفها سوف نتتبع علاقات الماء والطاقه لأرض خلال وبعد تعرض الأرض لمطر غزير أو للرى .

١- التشبع Saturation

عندما تتعرض الأرض لسقوط مطر غزير أو لعملية الرى تتشبع الأرض بالماء ويقال فى هذه الحاله أن الأرض مشبعه saturated soil (شكل 6-11) . أى أن الأرض إدمصت أقصى سعه إدمصاصيه لها من الماء maximum retentive capacity

وجهد الشد matric للأرض فى هذه الحاله يكون عالى ويساوى تقريبا جهد الشد matric potential للماء النقى (صفر ضغط جوى) .

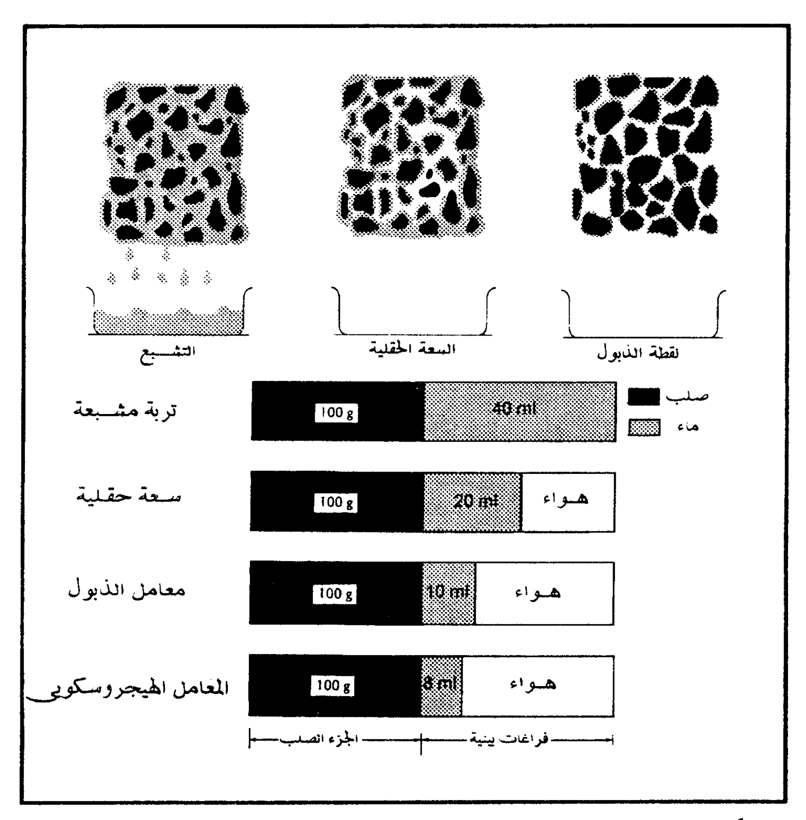
جدول (1-6) العلاقة بين الوحدات المستخدمه للتعبير عن جهد ماء الأرض

أرتفاع وحدة عمود الماء (cm)	جهد ماء الأرض (bars)	جهد ماء الأرض Mpa
0	0	0
10.2	− 0.01	− 0.001
102	− 0.1	− 0.01
306	− 0.3	− 0.03
1,020	− 1.0	− 0.1
15,300	− 15	− 1.5
31,700	− 31	− 3.1
102,000	− 100	− 10.0
الوحدات القياسية الدولية طاقة لكل وحدة كتلة (Joules / kg (J / kg طاقة لكل وحدة حجم (Pascals (Pa		1 k Pa = 1 J / kg = 0.01 bar

٢ـ السعه الحقلية Field Capacity

بعد إنتهاء عملية الرى أو سقوط الأمطار يحدث صرف للماء الحر نتيجة حركة الماء السريعة لأسفل بواسطة الجاذبيه الأرضية لمدة يومين أو ثلاثة ويطلق على الرطوبه الأرضية فى هذه الحاله بالسعة الحقلية . وفى هذه الحاله يكون الماء الموجود فى المسام الكبيرة micropores قد تم التخلص منه وحل محله الهواء أما المسام الصغيرة micropores تكون مملوة بالماء اللازم لمد النبات بإحتياجاته المائيه .

قيمة جهد الشد matric عند السعة الحقليه يتراوح بين 0.1 - 0.3 bar تبعا لنوع الأرض . فقيمة جهد الشد matric عند السعه الحقليه للأراضى الرمليه ضعيفة الأحتفاظ بالماء تساوى تقريبا 0.1 bar ، للأراضى الطينيه تساوى تقريبا 0.3 bar .



شكل (6-11) : أحجام الماء والهواء الموجودة فى مائة جرام أرض لوميه عند مستويات رطوبه مختلفة (Brady, 1990) .

٣- معامل الذبول Wilting Coefficient

يمتص النبات إحتياجاته المائيه من الأرض عند السعه الحقليه ويفقد جزء كبير من هـذا الماء الممتص عن طريق النتح transpiration كما يفقد جزء كبير من ماء الأرض عـن طريق البخر evaporation . وعند جفاف الأرض يبدأ النبات بالذبول صباحا للأحتفاظ بالرطوبه ويستعيد حيويته مساءاً وتدريجيا يحدث ذبول للنبات صباحا ومساءاً أى أنه يصبح فى حالة ذبول دائم . ويطلق على المحتوى الرطوبى للأرض

عـنـدما يكـون النبـات النـامى فيهـا فـى حـالة ذبـول دائـم بإسـم معـامل الذبـول wilting coefficient وقـيـمـة جـهـد ماء الأرض (Ψ) عند معامل الذبول تساوى 15 bars- لمعظم النباتات .

٤- المعامل الهيجروسكوبى Hygroscopic Coefficient

عندما تنخفض الرطوبه عن معامل الذبول تصبح جزيئـات الماء ممسوكه بقـوة على سطح غرويات الأرض . ويطلق على المحتوى الرطوبى لـلأرض فـى هـذه الحالـه بالمعامل الهيجروسكوبى . وقيمة جهد ماء الأرض فى هذه الحاله يساوى 31 bars- . وتحت هذه الظروف تمسك الأتربه الغنيه بالمواد الغرويه قدرا أعلى من الماء عـن تلـك التى يقل فيها المـواد الغرويـه مثـل الأراضـى الرمليـه . ويوضـح الجـدول رقـم (6-2) المحتوى الرطوبى على أساس الحجم لثلاثة أنواع مـن الأراضـى عنـد السعه الحقليـه ، المعامل الهيجروسكوبى .

جدول (6-2) : المحتوى الرطوبى على أساس الحجم θv

الأرض	السعه الحقليه (-0.3 bar)	المعامل الهيجروسكوبى (-31 bars)
رمليه لوميه	12	3
سلتيه لوميه	30	10
طينيه	35	18

أقسام مـاء الأرض Classification of Soil Water

بناءاً على علاقات الماء ، الأرض والنبات تم التعرف على تقسيمين للماء هـامين من الناحيه العملية (شكل 6-12) وهمـا :

(أ) التقسيم الفيزيائى Physical Classification

من وجهة النظر الفيزيائية يقسم ماء الأرض إلى :

ماء الجذب الأرضى Gravitational Water :

وهو الماء الزائد عـن السـعه الحقليه والـذى يحتـل مؤقتـا المسـام المملـوة بـالهواء ويؤدى إلى خفض التهويه . ونظرا لقـصر فترة بقـاء هذا المـاء فى الأرض فـإنه يعتـبر

قليل الفائدة للنبات ولذلك فإن التخلص من هذا المـاء بتأثير الجاذبيـه الأرضيـه يعتـبر ضرورى لضمان نمو النبات .

مـاء الجذب الأرضي = النسبه المئويه للماء في الأرض في الحاله المشبعة - السعه الحقليه

الماء الشعرى Capillary Water :

وهو الماء الممسوك فى المسام الشعريه بواسطة القوى الناتجه عن التوتر السـطحى ويمثل حده الأقصى المحتوى الرطوبى عندما يكون كل ماء الجذب الأرضى ثـم صرفـه (المحتوى الرطوبى عند السعه الحقليه) . ويعتبر المـاء الشـعرى المصـدر الرئيسـى الـذى يستخدمه النبات ويتراوح جهده بين 0.1 bar - 0.3 .

الماء الشعرى = السعه الحقليه - المعامل الهيجروسكوبى

الماء الهيجرسكوبى :

وهو الماء الممسوك بقوة على غرويات التربه عند قيم جهـد أقـل مـن 31 bars- وهو أساساً يكون فى صورة غير سائله ويتحـرك فـى الصـورة البخاريـه ولا يسـتطيع النبات إمتصاص هذا النوع من الماء .

(ب) التقسيم البيولوجى Biological Classification

وهذا التقسيم مبنى على العلاقة الوثيقة بـين المـاء المدمـص علـى سـطوح التربـه واستخدامه بواسطة النبات ويشمل :

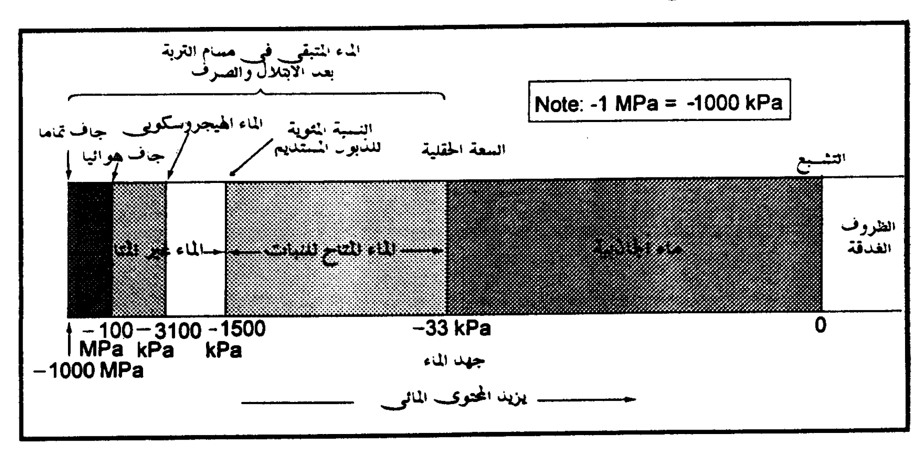
الماء المتاح (الميسر) Available Water :

ويطلق على الماء الممسوك فـى التربـه بـين السـعه الحقليـه (-0.1 to -0.3 bar) ومعامل الذبـول (-15 bars) ويمكن استخدامه بواسطة النبات .

الماء المتاح = السعه الحقليه - معامل الذبول

الماء غير المتاح (غير الميسر) Unavailable Water :

وهو الماء الممسوك بقوة كبيرة على سطوح حبيبات التربه عند جهد أقل من -15 bars ولايستطيع النبات إمتصاصه .



شكل (6-12) : رسم تخطيطي يوضح صور ماء الأرض وقيم جهد الماء عند مستويات رطوبة مختلفة .

العوامل المؤثرة على كمية الماء المتاح للنبات

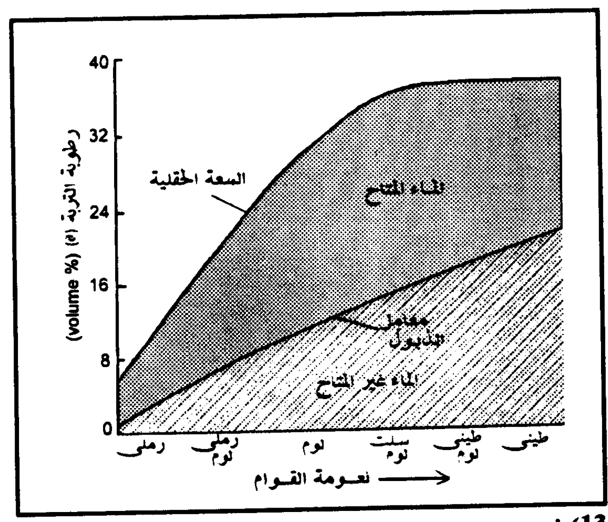
Factors affecting Amount of Plant Available Water

يحدد كمية الماء المتاح للنبات عدد من العوامل هى :

١- جهد الشد Matric potential

يؤثر جهد الشد (Ψ_m) على كمية الماء المتاح للنبات وذلك لأن جهد الشد يؤثر على كمية الماء عند السعة الحقلية وعند معامل الذبول . وهاتان الخاصيتان (كمية الماء عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول) تتأثران بقوام وبناء التربة ومحتوى التربة من المادة العضوية . والشكل رقم (6-13) يوضح تأثير قوام التربة على الماء المتاح ويلاحظ بوجه عام أن زيادة نعومة قوام التربة من رمل إلى سلت لوم يؤدى إلى زيادة مخزون الماء المتاح . ومع ذلك فإن الأراضى الطينية تحتوى على كمية ماء متاح أقل

من الأراضى السلتية اللومية المحببة . أيضاً تؤثر محتوى التربة من المادة العضوية على كمية الماء المتاح للنبات . فالأراضى جيدة الصرف التى تحتوى على حوالى 5% مادة عضوية يكون كمية الماء المتاح فيها أعلى من الأراضى التى تحتوى على 3% مادة عضوية ويعزى ذلك ليس لزيادة محتوى التربة من المادة العضوية وإرتفاع السعة الإدمصاصية للمادة العضوية من الماء وإنما يرجع أساساً إلى التأثير الجيد للمادة العضوية على بناء التربة وبالتالى على مسامية التربة . ولذلك فإن تأثير الدبال على كمية الماء المتاح للنبات هو تأثير غير مباشر من خلال التأثير على بناء التربة .



شكل (6-13) :

العلاقة بين محتوى التربة الرطوبى وقوام التربة . ويلاحظ زيادة معامل الذبول بزيادة نعومة التربة ، كما أن السعة الحقلية تزيد بزيادة نعومة التربة حتى تصل إلى القوام silt loam ثم تبدأ فى التناقص.

٢- الجهد الأسموزى Osmotic Potential

تؤثر الأملاح الموجودة أساساً فى التربة أو المضافة على صورة أسمدة على إمتصاص النبات للماء . فالجهد الأسموزى (Ψ_o) الموجود فى المحلول الأرضى soil solution يعمل على خفض الماء المتاح فى التربة وذلك عن طريق زيادة الماء

الموجود فى التربة عند معامل الذبول . ولذلك فالجهد الرطوبى للأراضى ذات المحتوى العالى من الأملاح يشمل جهد الشد matric والجهد الأسموزى للمحلول الأرضى . وفى المناطق الرطبة غالباً ما يكون تأثير الجهد الأسموزى ضعيفاً بينما فى المناطق الجافة وشبه الجافة فإن تأثير الجهد الأسموزى على الماء المتاح يكون عالياً وخاصة فى الأراضى عالية المحتوى من الأملاح .

٣- عمق قطاع التربة Soil Depth

بإفتراض ثبات جميع العوامل الأخرى فإن الأرض ذات القطاع العميق تحتوى على كمية أكبر من الماء المتاح بالمقارنة مع الأرض ذات القطاع غير العميق shallow soil وهذا له قيمة عملية كبيرة وخاصة بالنسبة للنباتات التى تمتد جذورها لعمق كبير والنامية فى المناطق شبه الرطبة وشبه الجافة التى لا يتوفر فيها مياه الرى.

قياس المحتوى الرطوبى للأرض

Measurement of Soil Moisture Content

يتم قياس المحتوى الرطوبى للأرض بعدة طرق منها الطريقة الوزنيه وطريقة التشتت النيترونى وطريقة المقاومة الكهربائية وغيرها . وتعتبر الطريقة الوزنية هى الطريقة القياسية التى بواسطتها يتم تقييم الطرق الأخرى وفى معظم طرق تقدير المحتوى الرطوبى لايتم قياس جهد الماء مباشرة وإنما يتم قياس بعض خواص الماء .

١- الطريقة المباشرة Direct method

الطريقه الوزنية Gravimetric method

وفى هذه الطريقة تؤخذ عينة الأرض الرطبه وتقدر كتلتها الرطبه بالوزن ثم تجفف فى فرن عند درجة حرارة 105 - 110°C لمدة 24 ساعة ثم توزن ثانية لتقدير كتلة الأرض الجافه تماما وبالتالى يمكن حساب المحتوى الرطوبى للأرض كما يلى :

أ ـ حساب النسبه المئويه للماء فى الأرض (Soil water pencentage)

يتم حساب النسبه المئويه للماء فى الأرض على أساس الكتله الجافه تماما (بعد التجفيف فى الفرن على درجة حرارة 105 - 110°C) كما يلى :

$$\text{كتلة محتوى الأرض من الماء } (\theta_m) = \frac{\text{كتلة الماء}}{\text{كتلة الأرض الجافة تماماً}}$$

النسبه المئويه للماء فى الأرض على أساس الوزن $(P_m) = 100 \times \theta_m$

وللتدريب على هذا النوع من الحسابات أنظر المثال الموجود فى المربع .

حساب المحتوى الرطوبى للأرض باستخدام الطريقة الوزنيه

مثـال :

تم أخذ عينه أرض رطبه من الحقل ووضعت فى علبه ثم وزنت وجففت فى الفـرن عند درجة حرارة 105^oC وبعد الجفاف تم وزنها ثانية وكانت النتائج كما يلى :

وزن العينه رطبه + وزن العلبه	= 150g
وزن العينه جافه تماما + وزن العلبه	= 134g
وزن العلبه فارغه	= 41g
الكثافة الظاهريه للأرض	= $1400\ kg/m^3$

إحسب : أ ـ النسبه المئويه للرطوبه فى العينه على أساس الوزن .

ب ـ النسبه المئويه للرطوبه فى العينه على أساس الحجم .

الحـــــل

(أ) وزن الأرض الرطبه = $159g - 41g = 118g$

وزن الأرض الجافه = $134 - 41g = 93g$

$$\text{كتلة الماء فى عينة الأرض } \theta_m = \frac{\text{وزن الأرض الرطبة – وزن الأرض الجافة تماماً}}{\text{وزن الأرض الجافة تمـامـاً}}$$

$$\theta_m = \frac{118g - 93g}{93g} = 0.269$$

$P_m = \theta_m \times 100 = (P_m)$ ٪ للرطوبه فى الأرض

$= 0.269 \times 100 = 26.9\%$

(ب) لحساب (٪) للرطوبه فى العينه على أساس الحجم تستخدم المعادله التاليه :

$$\text{حجم الماء فى عينة الأرض } \theta_v = \frac{\text{وزن الماء}}{\text{وزن الأرض الجافة تماماً}} \times \frac{\text{الكثافة الظاهرية للأرض}}{\text{كثافة الماء}}$$

$$\theta_v = \left(\frac{25g}{93g}\right)\left(\frac{1400\ kg/m^3}{1000\ kg/m^3}\right) = 0.376$$

$P_v = 100 \times \theta_v$ النسبه المئويه للماء على أساس الحجم (P_v)

$= (100)(0.376) = 37.6\%$

ب ـ حساب حجم الماء

حساب حجم الماء الموجود فى حجم معين من الأرض غالبا ما يكون مفيدا وواقعيا لأن النبات يمتص الماء من حجم معين من التربه . ويعبر عن حجم محتوى التربة من الماء كما يلى :

$$\text{حجم محتوى الأرض من الماء } (\theta_v) = \frac{\text{حجم الماء}}{\text{حجم الأرض}}$$

$$= \frac{\text{وزن الماء}}{\text{كثافة الماء}} \div \frac{\text{وزن الأرض الجافة تماماً}}{\text{الكثافة الظاهرية للأرض}}$$

$$\theta_v = \frac{\text{وزن الماء}}{\text{وزن الأرض الجافة تماماً}} \times \frac{\text{الكثافة الظاهرية للأرض}}{\text{كثافة الماء}}$$

النسبه المئويه للماء فى الأرض على أساس الحجم (P_v) = $(P_v) = \theta_v \times 100$

ويستخدم قيم حجم الماء لتقدير حجم الماء المخزون فى الأرض وأيضـا لتقدير كميـة الماء المطلوبة لرى الأرض .

مثال لحسابات الرطوبه

عينه أرض تم تحديد الأوزان التاليه بها :

وزن عينه الأرض عند السعه الحقليه = 26.0 g

وزن عينه الأرض عند معامل الذبول = 23.2 g

وزن عينه الأرض الجافه هوائيا = 21.6 g

وزن عينه الأرض الجافه تماما = 20.0 g

النسبه المئويه للماء عند السعه الحقليه :

$$\text{Field capacity} = \frac{26.0 - 20.0}{20.0} \times 100 = 30\%$$

النسبه المئويه للماء عند نقطة الذبول :

$$\text{Wilting coefficient} = \frac{23.2 - 20.0}{20.0} \times 100 = 16\%$$

النسبه المئويه للماء المتاح :

$$\text{Available water} = \frac{26.0 - 23.2}{20.0} \times 100 = 14\%$$

وإستخدام الوزن الجاف تماما (قيمة ثابتة) فى المقـام يجعـل مـن الممكـن إجـراء بعض الحسابات عن طريق جمع النسب المئويه كما يلى :

٪ للماء عند السعه الحقليه = (٪) للماء المتاح + (٪) نقطة الذبول

(16%) + (14%) = 30%

الماء الهيجروسكوبى

(٪) الماء الشعرى = (٪) السعه الحقليه - (٪) الماء الهيجروسكوبى

Capillary water = 30% - 6% = 22%

٪ الماء المتاح = ٪ السعه الحقليه - (٪) نقطة الذبول

Available water = 30% - 16% = 14%

جـ – حساب التغير فى محتوى الأرض من الماء

Water Contents , Gains and Losses of Water

يستخدم حجم الماء لتقدير كمية المياه الموجودة فى التربـه وأيضـا لتقدير كميـة المياه المطلوب إضافتها لرى التربـه وكذلـك كميـة الميـاه المفقـودة بواسـطة النتـح أى البخر. وعادة مايستخدم عمق الماء (إرتفاع عمود الماء) water depth الموجود لعمـق معين فى التربه للتعبير عن حجم الماء . ويمكن تصور ذلك بإفـتراض إستخلاص المـاء من الأرض ووضعه فى وعاء له نفس مساحة الأرض المستخلص منها المـاء وتسـجيل عمق هذا الماء فى الوعاء . وتقاس كمية الأمطار بهذه الطريقة فيقال أن المطر الساقط على مساحة معينه هو 50 mm مثلا وهذا يعنى أن كمية المطر السـاقط يعـادل كميـة الماء اللازمة لتغطية هذه المساحه إلى عمق 50 mm وذلك بإفتراض عدم فقد المياه عـن طريق البخر أو الصرف .

والمعادله العامه لهذا النوع من الحسابات هى :

$$\frac{\text{depth of water}}{\text{depth of soil}} = \theta_v = \theta_m \left(\frac{\text{bulk density of soil}}{\text{density of water}}\right)$$

$$\text{depth of water} = \theta_v \text{ (depth of soil)}$$

$$= \theta_m \left(\frac{\text{bulk density of soil}}{\text{density of water}}\right) \text{ (depth of soil)}$$

وبإستخدام الرموز تكتب المعادلات كما يلى :

$$d_w = \theta_v \,(d_s) = \theta_m \frac{\rho_b}{\rho_w} d_s$$

حيث :

d_s = عمق الأرض .

d_w = عمق الماء .

θ_v = المحتوى الرطوبى على أساس الحجم .

θ_m - المحتوى الرطوبى على أساس الوزن .
ρ_b - الكثافه الظاهريه للأرض .
ρ_w - كثافة الماء .

حسابات حجم الماء

مثـال :

إحسب القيم التاليه :

(١) الماء الكلى الموجود فى الطبقه العلويه من التربه (30 cm) .

(٢) عمق الأبتلال الناتج من إضافة 27.5 mm ماء .

(٣) الماء الكلى المتاح فى عمق 30 cm من الطبقة السطحيه عندما تكون رطوبه الأتربه عند السعه الحقليه علما بأن النتائج التاليه تم التحصل عليها .

٪ محتوى التربه من الماء - 18%

٪ المحتوى الرطوبى للتربه عند السعه الحقلية - 23%

٪ المحتوى الرطوبى للتربه عند معامل الذبول - 9%

الكثافه الظاهريه للتربه - 1300 kg /m³ (1.3g / cm³)

الحـــل

(١) حساب الماء الكلى الموجود فى عمق 30 cm من الطبقة السطحية من التربة

$$\theta_m = \frac{\rho_w}{100} = \frac{18}{100} = 0.18$$

$$d_w = \theta_m \frac{\rho_B}{\rho_w} d_s$$

$$= (0.18\ \text{cm}) \left(\frac{1300\ \text{kg/m}^3}{1000\ \text{kg/m}^3}\right) (30\ \text{cm deep})$$

$$= 7.02\ \text{cm}$$

عمق الماء فى 30 cm السطحية - 7.02 cm

(٢) حساب عمق الإبتلال الناتج عن الرى بعمق 27.5 mm ماء

المحتوى الرطوبى للتربة على أساس الوزن (θ_m) فى هذه الحالة هو عبارة عن الفرق بين المحتوى الرطوبى الموجود فى التربة والمحتوى الرطوبى فى التربة عند السعة الحقلية .

$$\theta_m = 0.23 - 0.18 = 0.05 \quad , \quad d_w = 27.5 \text{ mm}$$

وذلك لأن الرى ينتج عنه زيادة المحتوى الرطوبى للتربة (18%) إلى السعة الحقلية (23%) قبل أن يتم صرف الماء الزائد بواسطة الجاذبية الأرضية .

وبالتعويض عن قيم θ_m ، d_w فى المعادلة :

$$d_w = \theta_m \frac{\rho_B}{\rho_w} d_s$$

$$27.5 \text{ mm} = \left(\frac{0.05 \text{ cm water}}{1 \text{ cm depth of soil}}\right)\left(\frac{1300 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}\right) d_s$$

$$d_s = 423 \text{ mm} = 42.3 \text{ cm deep}$$

أى أن عمق إبتلال الأرض = 42.3 cm

(٣) حساب الماء الكلى المتاح فى الطبقة السطحية (عمق 30 cm)

الماء المتاح = السعة الحقلية − معامل الذبول

$$\theta_m = 0.23 - 0.09 \qquad d_s = 30 \text{ cm}$$

وبالتعويض عن قيم θ_m ، d_w فى المعادلة :

$$d_w = \theta_m \frac{\rho_B}{\rho_w} d_s$$

$$d_w = (0.23 - 0.09)\left(\frac{1300 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}\right)(30 \text{ cm})$$

$$= 5.46 \text{ cm}$$

∴ الماء الكلى المتاح (الميسر) فى الطبقة السطحية (عمق 30 cm) = 5.46 cm

الطرق غير المباشرة Indirect Methods

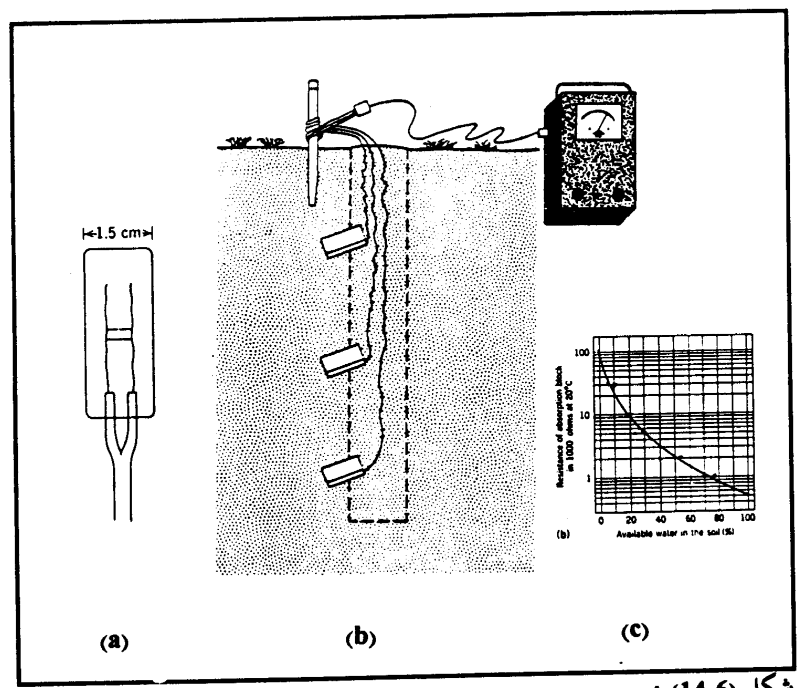
يوجد عديد من الطرق غير المباشرة لتقدير المحتوى الرطوبى فى التربه بسرعة وعلى أعماق مختلفه وهى (أ) طريقة كتل المقاومه المساميه Porous resistant blocks (ب) طـريقة التنشيومـترات tensiometer methods (جـ) طريقـة تشـتت النيوترونات neutron scattering method .

(أ) طريقة كتل المقاومه المساميه Porous Resistant Blocks

وتعتمـد هـذه الطريقـة علـى أن التوصيـل الكهربـائى يقـل عندمـا يقـل المحتـوى الرطوبى فى التربه وفى هذه الطريقة يتم إستخدام كتل مساميه مصنوعـه مـن الجبس gypsum أو ألياف زجاجية fiber glass أو نايلون nylon تحوى بداخلهـا زوجـا مـن الألكترودات متصلين بأسلاك كهربائيه وتوضع الكتل فى التربه فندمص الماء بكميات تتناسب مع المحتوى الرطوبى للتربه ويتم قياس التوصيل (أو المقاومه) بأستخدام قنطـرة هويتستون Wheatstone bridge وبأستخدام علاقات معـايرة calibration بـين قيمـة التوصيل (أو المقاومه) والمحتوى الرطوبى يمكن تقدير النسب المئويه للرطوبه من السـعه الحقليه إلى معامل الذبول (شكل رقم 6-14) حيـث أن المـدى الفعـال لكتـل المقاومه يتراوح بين 1-15 bars . ومن عيوب هذه الطريقة أن مقاومـة الكتـل تتوقـف جزئيـا على الأملاح فى التربه كما أن الكتل الجبسيه نفسها قد تتعرض للإذابة بتأثير رطوبـه التربه لذلك يجب معايرة كل تربه على حده وأيضا معايرة الكتل الجبسيه دوريا .

(ب) طريقة التنشيومترات Tensiometer

الشد tension الممسوك به الماء فى التربه هو فى الحقيقة تعبـير عـن جهـد المـاء الأرضى (Ψ) مع إختلاف واحد وهـو أن قيـم الشـد هـى عبـارة عـن قيـم موجبـه . والتنشيومترات الحقليه field tensioneters الموضحـه بالشـكل (6-15) تقيـس الشـد الرطوبـى moisture tension فـى التربـه ويتكـون التنشـيومتر مـن كـأس مسـامى porous cup يتصل به أنبوبه مملوءة بالماء ويتصل كـلا مـن الكـأس المسـامى والأنبوبـه بمقياس تفريغ vacuum gauge لقياس الشد .



شكل (14-6) :

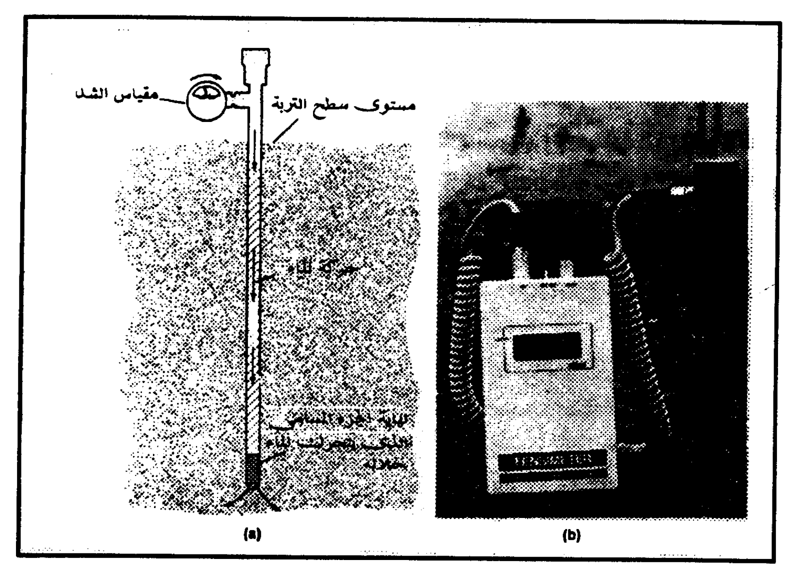
(a) رسم تخطيطى لكتله جبسيه مساميه يوضح موقع الألكترودات داخل الكتله .

(b) رسم تخطيطى يوضح وضع كتل المقاومه على أعماق مختلفة فى الأرض ويلاحظ إمتداد الأسلاك المرتبطه بالكتل المقاومه إلى سطح التربه حتى يسهل قراءة التوصيل الكهربائى على جهاز قياس التوصيل الكهربائى .

(c) رسم بيانى يوضح مقاومه إحدى كتل المقاومه ومحتوى الأرض الرطوبى من الماء المتاح لأرض سلتيه لوميه **Silt loam** .

ويتم وضع التنشيومتر فى الحقل عن طريق عمل حفره بواسطة augur بحيث يكون قطرها أقل من قطر الكأس المسامى للتنشيومتر وذلك لضمان الإتصال الجيد بين الكأس المسامى والتربه المحيطه به . وعندما تقوم جذور النباتات باستخلاص الماء من التربه فإن الشد الناتج فى التربه يؤدى إلى سحب الماء من الكأس المسامى حتى الوصول إلى حالة الاتزان والذى عنده يتساوى الشد الرطوبى فى الأرض ومقدار

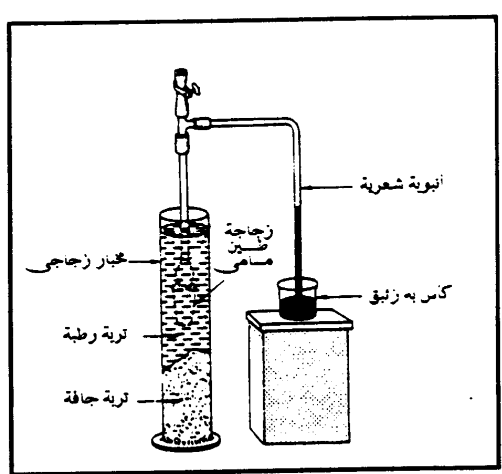
التفريغ فى التنشيومتر وعند ذلك يشير مقياس الشد (التفريغ) vacum gauge إلى مقدار الشد الرطوبى بالأرض .



شكل (6-15) : طريقة التنشيومترات لقياس الشد الرطوبى فى الحقل .
(a)قطاع يوضح المكونات الأساسيه للتنشيومتر ويظهر فيه حركة الماء إلى الكأس المسامى نتيجة الشد فى التربه .
(b)تنشيومتر محمول موضوع فى الحقل لقياس الشد الرطوبى وبالتالى الجهد بالمليبار (m bar).

ويقتصر إستخدام التنشيومترات على حالات التربه ذات المحتوى الرطوبى المرتفع حيث أن مدى إستخدام التنشيومتر متراوح بين (0.8-) - (0) ولذلك فهو يستخدم بنجاح لتحديد مواعيد الرى فى الأراضى التى يلزمها إمداد جيد بالماء . ولتوضيح زيادة الجهد الرطوبى للتربه نتيجة إنخفاض المحتوى الرطوبى لها سوف نستخدم الجهاز المبسط الموضح بالشكل (6-16) . ويلاحظ من الشكل أن حركة الماء لأسفل إلى التربه الجافه سوف يدفع الماء من التربه المحيطه بالكأس المسامى وينتج عن ذلك إنخفاض محتوى التربه من الماء ويتولد عن ذلك شد يعمل على خروج الماء من الكأس

المسامى . وينتج عن ذلك أن الماء الموجود فى الأنبوبه الزجاجية سوف يحل محل الماء الذى خرج من الكأس المسامى إلى التربه فيرتفع الزئبق من الكأس إلى الأنبوبه المتصلـه به . ويعتبر المحتوى الرطوبى للتربه المحيطه بالكأس قد وصلت إلى السعه الحقليه عندما يرتفع الزئبق فى الأنبوبه إلى أرتفاع 25.4 cm (وهو ما يعادل عمـود مـن المـاء ضولـه 3.35 m تقريبا) والجهاز السابق شرحه يصلح فقط للشرح فى المعمل ولكن ليس لـه أهمية كبيرة فى الحقل .



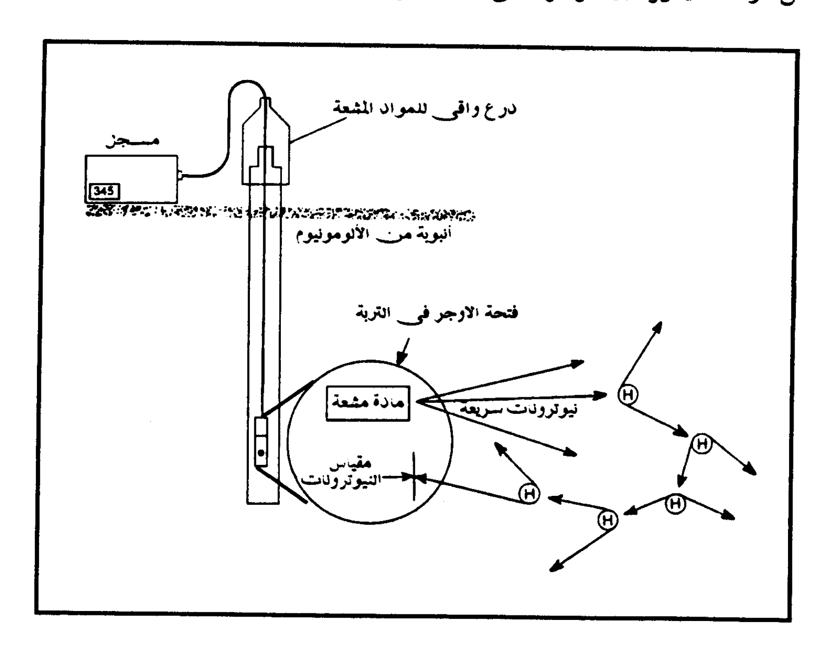
شكل (16-6) :

جهاز تنشيومتر مبسط . الزجاجة (الكأس) المسامه وكذلك الأنبوبه المتصله به مملوئين بالماء .

(جـ) طريقة تشتت النيترونات Neutron Scattering method

تعتمـد هـذه الطريقـة علـى قـدرة ذرات هيدروجـين المـاء علـى خفـض سـرعة النيترونات سريعة الحركة بدرجة كبيرة عند إصطدامهما ببعض حيث تفقد النيترونـات طاقتها وتتحول إلى نيوترنـات بطيئـة الحركـة ويحـدث لهـا تشـتت ويسـتخدم جهـاز إستقبال detector لعد تلك النيترونات البطيئه بحيـث يكـون معـدل العـد دالـه علـى المحتوى الرطوبى للأرض (شكل 6-17) وتعطى هذه الطريقة نتائج جيده فى الأراضـى المعدنيـه التى يكـون مصدر الهيدروجـين الأسـاسى فيهـا هـو المـاء أما فى الأراضى

العضويه فيوجد تحفظ على إستخدام هذه الطريقة لتقدير المحتـوى الرطوبـى لأن كثـير من ذرات الهيدروجين الموجودة فى التربه تكون مرتبطه بالمواد العضويه .



شكل (6-17) :
رسم تخطيطى يوضح طريقة عمل جهاز النيترونات neutron moisture meter لقياس المحتوى الرطوبى . والجهاز يحتوى على مصدر للنيترونات سريعة الحركة (راديوم) ومقياس detector لقياس عدد النيترونات بطيئة الحركة . يتم إنزال الجهاز إلى التربه حتى العمق المطلوب خـلال أنبوبـة القيـاس access tube الموضوعه بالتربه فتنطلق نيترونات سريعة الحركة جدا وتصطدم هذه النترونـات بمـاء التربه الذى يحتوى على ذرات هيدروجين وينتج عن ذلك تغير فى إتجاه حركة النيترونات وفقـد جـزء من طاقتها . ويتم قياس النيترونات المبطىء حركتها بواسطة detector وتدل قراءة جهاز الإستقبال على المحتوى الرطوبى للتربه .

حركـة المـــــاء فى الأراضى

Water Movement Through Soils

يعزى حركة الماء فى التربه إلى وجود تدرج فى جهد الشـد matric potential (Ψ_m) من مكان ما فى التربه إلى مكان أخر ويكون إتجاه حركة الماء من النقطة ذات الجهد الرطوبى (Ψ_m) العالى إلى النقطة ذات الجهد الرطوبى (Ψ_m) المنخفض .

ولقد تم التعرف على ثلاثة أنواع من حركة الماء فى التربه وهى :

١- حركة الماء فى الحاله المشبعه Saturated flow

وفيه تحدث حركة للماء فى التربه عندما يكون الجهد الرطوبى أكبر من 33kPa -

٢- حركة الماء فى الحاله غير المشبعه Unsaturated flow

وفيـه تـحدث حـركـة المـاء فـى التربـه عندمـا يكـون الجهـد الرطوبـى (Ψ_m) matric potential صغيرا ولا يكون لقوة الجاذبية أى تأثير على حركة الماء .

٣- حركة بخار الماء Water vapor flow

وسوف نتكلم بشيء من التفصيل عن أنواع حركة الماء السابق ذكرها

أولا – حركة الماء فى الأراضى المشبعه Saturated Flow Through Soils

فى الأحوال العادية تحتوى الفراغات الموجودة فى التربه على الماء والهواء ويقـال فى هذه الحاله أن التربه غير مشبعه unsaturated . ولكن تحت ظروف معينـة تكـون جميع الفراغات pores الموجودة فى التربه مملوءة بالماء ويقال فى هـذه الحالـه أن التربـه مشبعه saturated . فمثلا الآفـاق السـفلية مـن قطـاع التربـه للأراضـى خـلال فـترة سقوط الأمطار الغزيرة أو خلال عملية الرى تكـون فـى الحالـه المشـبعه أى أن جميـع الفراغات الموجودة بها تكون مملوءة بالماء .

وتتوقف حركة الماء فى الأرض المشبعه على :

- **القوة الهيدروليكيه Hydraulic force :**

وهى القوة التى تعمل على رفع الماء خلال التربه .

• **التوصيل الهيدروليكى Hydraulic conductivity :**

ويعبر عن السهوله التى تسمح بها الفراغات للماء بالمرور خلالهـا ويطلـق عليـه أحيانا معامل النفاذيه .

ويمكن التعبير عن معامل التوصيل الهيدروليكى رياضيا كما يلى :

$$Q = V/t = Kf$$

حيث :

- Q – الحجم الكلى (V) للماء المتحرك فى وحدة الزمن (t) .
- f – قوة حركة الماء .
- K – معامل التوصيل الهيدروليكى .

ومعامل التوصيل الهيدروليكى للأرض المتجانسة المشبعة يكـون ثـابت ويتوقـف على حجم وشكل الفراغات pores الموجودة فى التربه .

قانون دارسى Darcy`s Law

سوف ندرس الآن حركة الماء فى تربـه مشبعه وذلـك فـى محاولـه للتعبـير عـن العلاقات الكميه التى تربط بين معدل تدفق الماء ، مساحة التربه ، القوى الهيدروليكية المؤثرة عليه .

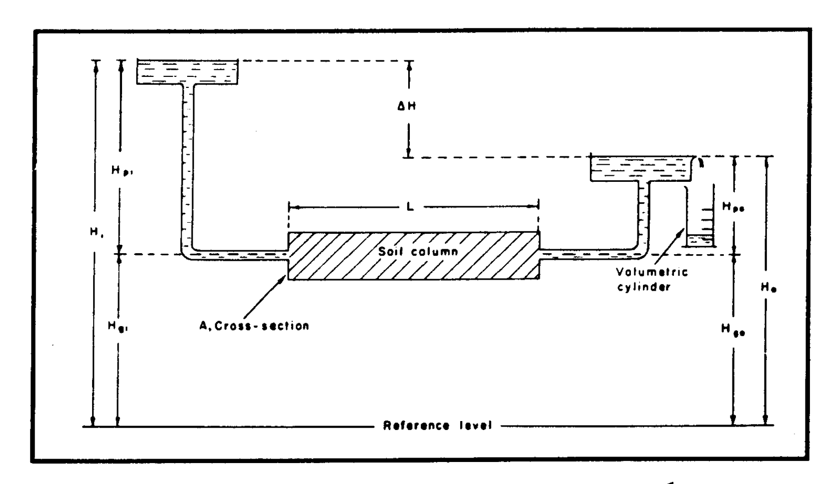
وسنفترض عمود أفقى لتربه متجانسة مشبعه يتدفق المـاء خلالـه مـن اليسـار إلى اليمين ومن أعلى إلى أسفل (شكل رقم 6-18) .

معدل تدفق الماء (Q) (الذى هو عبارة عن حجم الماء (V) المتدفق خلال عمـود الأرض فى وحدة الزمن (t) يتناسـب طرديـا مـع مسـاحة مقطـع العمـود (A) وفـرق الأرتفاع الهيدروليكى (ΔH) ، يتناسب عكسيا مع طول العمود (L) .

$$Q = V/t \propto A\, \Delta H/L$$

والطريقة الشائعة لتقديـر فـرق الأرتفـاع الهيدروليكـى (ΔH) فـى النظـام تحت الدراسة هو قياس الأرتفاع الهيدروليكى عند نقطة دخول الماء H_i ، عند نقطة خروج الماء H_o وتصبح ΔH هى الفرق بين هذين الأرتفاعين .

$$\Delta H = H_i - H_o$$



شكل رقم (6-18) : تدفق الماء فى عمود أفقى لتربه مشبعه .

وعند تساوى الأرتفـاعين $H_i = H_o$ فـإن $\Delta H = O$ ولا يحـدث تدفـق للمـاء . ويطلـق علـى مقـدار التغير فـى الارتفـاع الهيدروليكـى مـع وحـدة المسـافة $(\Delta H/L)$ بالتدرج الهيدروليكى Hydraulic gradient . ويطلق على Q/A (حجم المـاء المتدفـق خلال وحدة المساحة فى وحدة الزمن) بكثافـة التدفـق flux density (q) . وبذلـك يصبح التدفق (q) يتناسب طرديا مع التدرج الهيدروليكى .

$$q = Q/A = V/At \propto \Delta H/L$$

وعليه فيمكن كتابة قانون دارسى كما يلى :

$$\boxed{q = K\,\Delta H/L}$$

حيث K = معامل التوصيل الهيدروليكى الذى يمكـن تعريفـه بأنـه سـرعة تدفـق المـاء فى الأرض (المشـبعه فى هذه الـحاله) . تحت تـدرج فـى الجهـد الهيدروليكـى hydraulic gradient مقـداره الوحـدة وبالتـالى تصبـح وحـدات معـامل التوصيـل الهيدروليكى وحدات سرعة (سم/ثانية أو متر/يوم) .

ويختلف معامل التوصيل الهيدروليكى باختلاف قوام التربه فنجد أن معامل التوصيل الهيدروليكى للأراضى الرملية الخشنه المشبعه أكبر من معامل التوصيل الهيدروليكى للأراضى الطينيه. وذلك لأن معدل تدفق الماء فى مسام الأرض يتناسب طرديا مع الأس الرابع لنصف قطر المسام (r^4) فنجد أن التدفق خلال فراغ مسامى (pore) نصف قطره 1mm يعادل تدفق الماء خلال 10,000 فراغ مسامى ذات نصف قطر 0.1 mm ويتضح من ذلك الدور الكبير الذى تلعبه المسام الكبيرة فى حركة الماء فى الأرض المشبعه .

وفى الحاله غير المشبعه يطلق علي معامل التوصيل الهيدروليكى بمعامل التوصيل الشعرى وتزداد قيمته بزيادة محتوى الأرض الرطوبى . ويوضح الجدول التالى قيم معامل التوصيل الهيدروليكى لأنواع مختلفة من التربه وتدل قيم K على نفاذية التربه لتدفق الماء .

نوع التربه	K (cm / s)
Sand	1.2×10^{-1} to 2.0×10^{-3}
Loam	1.7×10^{-4} to 1.7×10^{-7}
Clay	2.5×10^{-8} to 1.0×10^{-9}
Silt Loam	4.7×10^{-4}

الجاذبية والضغط والأرتفاع الهيدروليكى

Gravitational, Pressure and Total Hydraulic Heads

الماء الداخل إلى العمود الأفقى فى الشكل (6-18) يكون واقعا تحت ضغط pi (عباره عن مجموع الضغط الهيدروستاتيكى hydrostatic pressure (P_s) ، الضغط الجوى (P_a) (atmospheric pressure) . وهذا الضغط يكون على سطح الماء فى الخزان . ولما كان الضغط الجوى واحد عند نقطة دخول الماء ، عند نقطة خروج الماء فيمكن إهماله وسوف نركز فقط على الضغط الهيدروستاتيكى (ضغط الماء) .

عند نقطة دخول الماء فإن :

$$\text{ضغط الماء} = \rho_w \, g \; H_{pi}$$

وحيث أن كثافة الماء (ρ_w) ، عجلة الجاذبيه (g) تعتبر ثوابت فيمكن أن نعبر عن ضغط الماء (الضغط الهيدروستاتيكى) باستخدام أرتفاع الضغط (عمود الماء) عند نقطة الدخول (H_{pi}) وتبعا لذلك فإن تدفق الماء فى عمود الأرض الأفقى يحدث نتيجة التدرج فى أرتفاع الضغط .

أما تدفق الماء فى عمود أرض رأسى فيحدث نتيجة :

- **الجاذبيه Gravitational (H_g)**

ويقدر إرتفاع الجاذبية Gravitational head (H_g) عند أى نقطة بارتفاع هذه النقطة بالنسبة لمستوى قياسى محدد .

- **الضغط الهيدروستاتيكى Hydrostatic pressure (H_p)**

ويقدر أرتفاع الضغط (H_p) عند نقطة بأرتفاع عمود الماء الواقع فوق هذه النقطة . وبالتالى فإن الارتفاع الهيدروليكى الكلى total hydraulic head (H) هو عبارة عن مجموع أرتفاع الضغط H_p ، أرتفاع الجاذبية H_g .

$$H = H_p + H_g$$

ولتطبيق قانون دراسى على التدفق الرأسى للماء يجب أن نأخذ فى الاعتبار الأرتفاع الهيدروليكى الكلى عند نقطة بداية حركة الماء فى الأرض (H_i) inflow ، عند نقطة نهاية حركة الماء فى الأرض (H_o) outflow وكل منهما يساوى أرتفاع عمود الماء فوق النقطة + أرتفاع النقطة فوق المستوى القياسى .

الارتفاع الهيدروليكى الكلى عند نقطة الدخول

$$H_i = H_{pi} + H_{gi}$$

الارتفاع الهيدروليكى الكلى عند نقطة الخروج

$$H_o = H_{po} + H_{go}$$

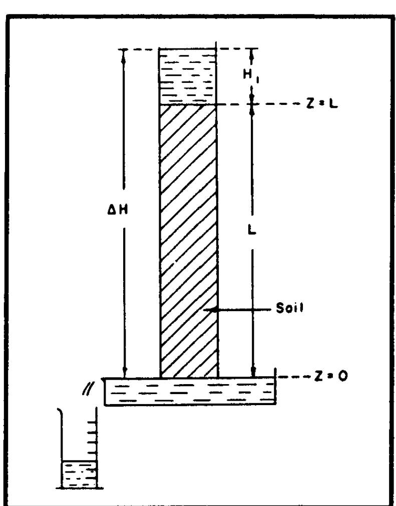
وبالتالى يصبح قانون دراسى كما يلى :

$$q = K\,[\,(H_{pi} + H_{gi}) - (H_{po} + H_{go})]\,/L$$

الحركه المشبعه فى الإتجاه الرأسى

Saturated Flow in a Vertical Columm

يوضح الشكل (6-19) عمود رأسى لأرض مشبعه متجانسة ويوجد على سطح التربه عمود ثابت من الماء (H_i) والجزء السفلى مـن العمـود موضـوع فـى خـزان بـه مستوى ثابت من الماء . سوف يتدفق الماء من أعلـى إلى أسـفل خـلال عمـود التربـه والذى طوله = L .



شكل (6-19) : تدفق الماء لأسفل فى عمود رأسى لأرض مشبعه .

لحساب التدفق تبعا لقانون دارسى يجب معرفة التدرج فى الارتفاع الهيدروليكى hydraulic head gradient كما هو مبين فى الجدول التالى :

	أرتفاع الجاذبية		أرتفاع الضغط	
الارتفـاع الهيدروليكـى عند نقطة دخول الماء.	L	+	H_1	H_i =
الارتفـاع الهيدروليكـى عند نقطة خروج الماء.	O	+	O	H_0 =
التـدرج فـى الارتفـاع الهيدروليكى ($H_i - H_0$).	L	+	H_1	ΔH =

وتصبح معادله دارسی فی هذه الحاله هی :

$$q = K \ \Delta H / L \ = K(H_1 + L) / L \ , \ q = K H_1 / L + K$$

وبمقارنة تدفق الماء لأسفل فى الحاله الرأسيه مـع تدفـق المـاء لأسـفل فـى الحالـه الأفقيه نجد أن معدل التدفق لأسفل فى الحاله الرأسيه أعلى من معدل التدفـق لأسـفل فـى الحالـه الأفقيـه بفـارق يسـاوى معـامل التوصيـل الهيدروليكـى لـلأرض (المعادلـه السابقه) .

واذا إفترضنا عدم وجـود عمـود الماء فـوق الأرض فـى الحالــه الرأسـيه أى أن $H_i = O$ (الشكل 6-20) فإن التدفق فى هذه الحاله سـوف يسـاوى معـامل التوصيـل الهيدروليكى .

تدفق الماء لأعلى فى عمود رأسى لأرض مشبعه

Upward flow in vertical columm

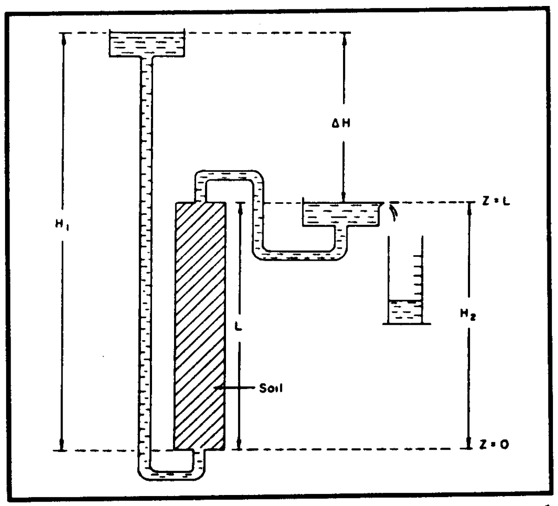
يوضـح الشـكل (6-20) تدفـق المـاء لأعلـى فـى عمـود رأسـى لأرض مشـبعه متجانسه .

فـى هـذه الحالـه فـإن إتجـاه تدفـق المـاء سـوف يكـون عكـس تـدرج الجاذبيـه gravitational gradient ويصبـح التـدرج الهيدروليكـى hydraulic gradient كمـا يلى:

	أرتفاع الجاذبية		أرتفاع الضغط	
الارتفـاع الهيدروليكــى عند نقطة الدخول.	O	+	H_1	H_i =
الارتفـاع الهيدروليكــى عند نقطة الخروج .	L	+	O	H_o =
التــدرج الهيدروليكــى . $(H_i - H_o)$	L	–	H_1	ΔH =

وفى هذه الحاله تصبح معادله دارسى كما يلى :

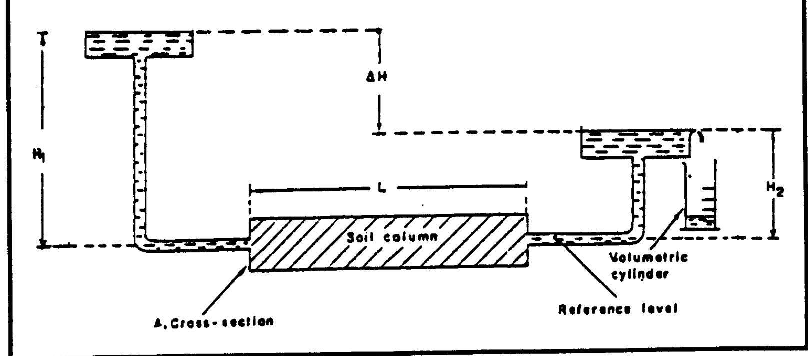
$$q = K (H_1 - L) / L \ = \ K H_1 / L - K , \quad q \ = \ K \Delta H / L$$



شكل (6-20) : تدفق الماء لأعلى فى عمود رأسى لأرض مشبعه .

مثـــال :

إحسب معامل التوصيل الهيدروليكى لعينة الأرض المشبعة الموضحة بالرسم اذا كان طول عمود الأرض = 30 cm والارتفـــاع الهيدروليكى H_1 عنـد نقطـة الدخـول (اليسرى) = 25 cm وعند نقطة الخروج (H_2) = 8 cm وكان حجم التدفق المتجمـع فى المخبار المدرج فى زمن قدره 30 دقيقة هو 20 cm ونصف قطر عمـود الأرض = 4 cm .



الحــل

نفرض أن مستوى القياس يمر أفقيا بمنتصف العمود كما فى الرسم . وهذا موقـع مناسب لمستوى القياس حيث يصبح جهد الجاذبية مساويا صفرا عنـد نقطتـى دخـول وخروج الماء .

			إرتفاع الضغط		إرتفاع الجاذبية
الإرتفـاع الهيدروليكـى عند نقطة الدخول H_i.	H_i =	25 cm	+	O	
الإرتفـاع الهيدروليكـى عند نقطة الخروج H_o.	H_o =	8 cm	+	O	
التـدرج الهيدروليكـى $(H_i - H_o)$.	ΔH =	17 cm			

لحساب q فيجب حساب مساحة مقطع الاسطوانه (العمود)

$$\text{Area} = \pi r^2$$
$$= 3.14 \times 16 = 50.24 \text{ cm}^2$$
$$q = V/At = 20/(50.24 \times 0.5)$$
$$= 0.796 \text{ cm/hr}$$

وبالتعويض فى معادله دارسى :

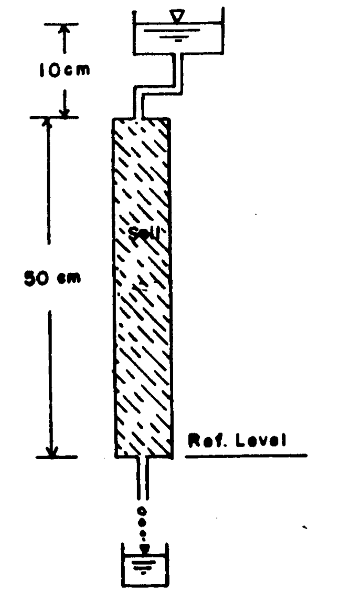
$$q = K \ \Delta H/L$$
$$0.796 = K\ 17/30 = 0.57K$$
$$K = 1.4 \text{ cm / hr.}$$

ملحوظة :

المستوى القياسى هو مستوى أفتراضى يمكن وضعه فى أى مكان معلـوم الأبعـاد ولا يؤثر موضعه على التدرج الهيدروليكى (ΔH) أو معامل التوصيل الهيدروليكى (K) أو كثافة التدفق (q) .

مثال :

عمود رأسى لأرض متجانسة مشبعه طوله 50 cm ومساحة مقطعه $50\ cm^2$ وأرتفاع عمود الماء الثابت فوق سطح الأرض = 10 cm وحجم المياه المتجمعه فى نهاية العمود هى 5 cm فى 30 دقيقة إحسب معامل التوصيل الهيدروليكى .



الحـــل :

$$q = V/At = \frac{5}{(50 \times 0.5)} = 0.2\ cm/hr$$

حساب التدرج فى الإرتفاع الهيدروليكى

		ارتفاع الضغط		ارتفاع الجاذبية	
$H_i =$		10 cm	+	50 cm	الإرتفاع الهيدروليكى عند نقطة الدخول H_i.
$H_o =$		O	+	O	الإرتفاع الهيدروليكى عند نقطة الخروج H_o.
$\Delta H =$		60 cm			التدرج الهيدروليكى $(H_i - H_o)$.

وبالتعويض فى معادله دارسى :

$$q = K\ \Delta H/L$$

$$0.2 = K\ 60 / 50 = 1.2K$$

$$K = 0.166\ cm / hr.$$

ثانيا – حركة الماء فى الأراضى غير المشبعه Unsaturated flow in soils

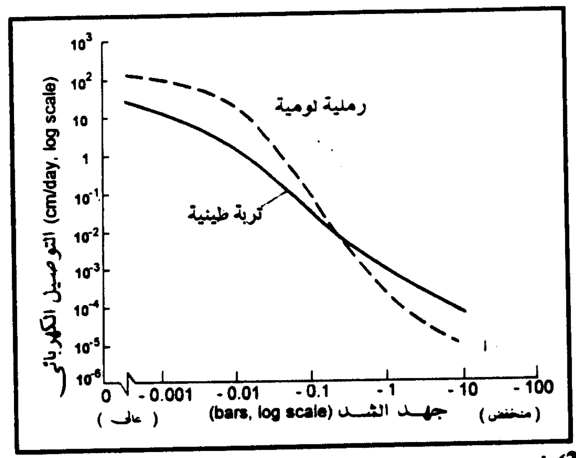
حركة الماء فى الأراضى المشبعه تكون سريعه نظرا لتحرك الماء خلال الفراغات الكبيرة pores . أما فى الأرض غير المشبعه unsaturated تكون مملوءة بالهواء ويتحرك الماء فقط خلال الفراغات الصغيرة وبالتالى تكون حركة الماء بطيئه . ويوضح الشكل رقم (6-21) هذه الحقيقة (بطء حركة الماء فى الأراضى غير المشبعه) فالشكل يبين العلاقة بين جهد الشد (Ψ_m) matric potential أى المحتوى الرطوبى ومعامل التوصيل الهيدروليكى ويلاحظ أنه عند تقريبا جهد شد يساوى صفر (كما فى حالة الأرض المشبعه) يكون معامل التوصيل الهيدروليكى أعلى الاف المرات من قيم معامل التوصيل الهيدروليكى عند جهد الشد matric الذى يميز الأراضى غير المشبعه (-0.1 bar) .

عند مستويات جهد عالية (محتوى رطوبى عالى) يكون معامل التوصيل الهيدروليكى فى الأراضى الرملية أعلى منه فى الأراضى الطينيه والعكس صحيح عند قيم جهد منخفض (محتوى رطوبى منخفض) . وهذه العلاقة تكون متوقعة بالطبع نتيجة أن وجود وسيادة الفراغات الكبيرة فى الأراضى الرملية تشجع على تدفق الماء فى الحالة المشبعة بينما سيادة الفراغات الصغيرة فى الأراضى الطينية تشجع تدفق الماء فى الحاله غير المشبعه بدرجة أكبر من الأراضى الرملية .

ومن المناقشه السابقه يتضح أن حركة الماء فى الأراضى غير المشبعه يحكمها نفس القواعد والأسس التى تتحكم فى حركة الماء فى الأراضى المشبعه وهى التدرج فى جهد الشد (matric) ومعامل التوصيل الهيدروليكى . كما أن أتجاه حركة المياه فى الأراضى غير المشبعه سوف تكون من المنطقه ذات المحتوى الرطوبى العالى (جهد شد عالى -0.001 M Pa) إلى المنطقه ذات المحتوى الرطوبى المنخفض (جهد شد منخفض -0.1 M Pa) .

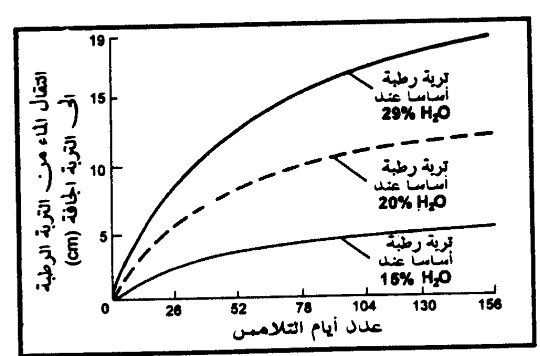
توضح منحنيات الرطوبه (الشكل رقم 6-22) تأثير تدرج الجهد على حركة الماء . وقد قام البحاث بقياس معدل حركة الماء فى المعمل من ثلاث عينات تربه رطبه إلى عينات تربه جافه مجاوره لها ووجدوا أن حركة الماء تكون أسرع فى حالة

العينات التى تحتوى على محتوى رطوبى عالى وذلك لأن أرتفاع الجهـد الرطوبـى فـى العينة يعنى كبر الفـرق فـى تـدرج الجهـد matric potential gradient بـين الأرض الجافه والرطبه وبالتالى زيادة سرعة التدفق . ومن ذلك يتضـح أن معـدل حركـة المـاء هى بالقطع داله لتدرج جهد الشد .



شكل (6-21) :

العلاقة بين جهد الشد matric ومعامل التوصيل الهيدروليكى لأرض رمليه وأرض طينيه . التدفق فى الحاله المشبعه يحدث عند جهد شد يساوى صفر بينما التدفق فى الحاله غير المشبعه يحدث عند جهد يساوى 0.1 أو أقل .



شكل (6-22) : معدل حركة الماء من أرض رطبه (ثلاث مستويات رطوبه) إلى أراضى جافه .

ثالثا – حركة بخار الماء فى الأراضى Water Vapor Movement in Soils

يوجد نوعين لحركة بخار الماء فى الأراضى :

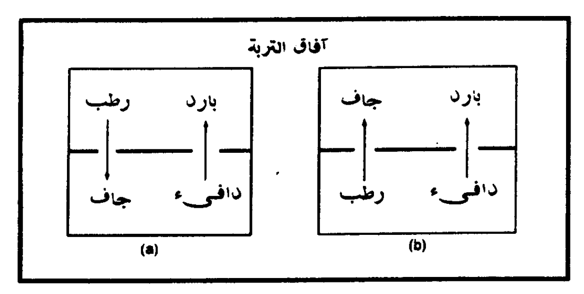
حركه داخليه Internal :

وهذه الحركه تحدث فى محيط التربه وبالذات فى مسام التربه .

حركه خارجيه External

وهذه الحركه تحدث عند سطح الأرض وفيها يفقد بخار الماء بواسطة التبخير السطحى Surface evaporation .

وسوف نركز فى حديثنا هنا فى هذا الفصل عن الحركه الداخلية لبخار الماء . يتحرك بخار الماء من نقطه إلى أخرى فى التربه تبعا للفرق فى الضغط البخارى بين النقطتين . فيتحرك بخار الماء من النقطه الرطبه حيث يكون فيها هواء التربه مشبع (100%) ببخار الماء (ضغط بخارى مرتفع) إلى النقطه الأقل فى الرطوبه حيث يكون الضغط البخارى فيها أقل . وتبعا لذلك فإن إنخفاض درجة حرارة جزء رطب من تربه رطبه سوف يؤدى إلى خفض الضغط البخارى مما ينتج عنه تحرك بخار الماء إلى هذا الجزء منخفض الحرارة . أرتفاع درجة الحرارة سوف يؤدى إلى تأثير عكسى . ويوضح الشكل (6-23) العلاقه بين درجة الحرارة والرطوبه وحركة بخار الماء فى التربه .



شكل (6-23) : حركة بخار الماء المتوقعه بين آفاق التربه تبعا لفروق درجات الحرارة والرطوبه .
ويلاحظ :
(a) تأثير درجات الحرارة والرطوبه فى كلا الأفقين تقريبا متعادله فالناتج النهائى للحركه متوازن .
(b) يوجد ترابط بين إختلاف درجات الحرارة والرطوبه فى كلا الأفقين مما يؤدى إلى أنتقال واضح لبخار الماء إلى أعلى .

والكميه الحقيقيه لبخار الماء فى الأرض عند درجات الرطوبه المثلى لنمو النبات يكون عادة صغيرا فهذه الكميه (بخار الماء) لا تزيد عن 10 kg فى الـ 15 cm العليا فى الهكتار بالمقارنه إلى 375,000 kg ماء فى نفس حجم الأرض . ونتيجة لصغر كمية بخار الماء فإن قيمتها العملية تكون ضئيلة جدا عندما تكون الرطوبه الأرضية عند السعه الحقلية . أما فى الأراضى تحت الظروف الجافه فإن حركة بخار الماء تكون ذات قيمة عملية كبيرة وهامه فى إمداد النباتات المقاومه للجفاف فى الصحراء بالرطوبه اللازمه لها .

كيفية إمداد النبات بالماء How plants are supplied with water

فى الأحوال العاديه فى الحقل تكون جذور النبات ملاصقه لكمية صغيرة جدا من الماء لا تفى بإحتياجات نموه وهذا يدفعنا إلى التساؤل عن كيفية حصول النبات على كميات كبيرة من الماء لتعويض ما يفقده النبات النامى عن طريق النتح ؟ والحقيقة أن ظاهرة الحركة الشعرية لماء الأرض إلى جذور النبات ، ظاهرة نمو وأستطالة جذور النبات فى إتجاه الأرض الرطبه هما الظاهرتين المسئولتين عن إمداد النبات بحاجته من الماء . وسوف نتكلم بإختصار عن هاتين الظاهرتين .

معدل الحركه الشعريه rate of capillary movement

إمتصاص جذور النبات للماء يؤدى إلى خفض المحتوى الرطوبى فى التربه المحيطه بالجذور وبالتالى ينخفض الجهد فى التربه ونتيجة لذلك يتحرك الماء فى التربه فى إتجاه الجذور . ويتوقف معدل حركة الماء على مقدار تدرج الجهد الناتج وأيضا على التوصيل conductivity فى مسام التربه . وفى الأراضى الرملية يكون معدل هذه الحركه عالى بينما فى الأراضى الطينية ضعيفة التحبب يكون معدل حركة الماء منخفض وبالتالى ينعكس ذلك على كمية الماء التى تصل إلى الجذور .

ولما كانت حركة الماء الشعرى فى الحاله غير المشبعه إلى الجذور تحدث فقط لمسافة قصيرة لا تتعدى عدة سنتيمترات فإن ذلك يدفعنا إلى استنتاج أن الحركة الشعريه ليست هى الوسيلة الأساسيه لإمداد النبات بحاجته الكلية من الماء . والواقع

أن نمو الجذور واستطالتها وإختراقها حجم كبير من التربه يوضح عدم ضرورة حركة الماء لمسافة طويلة وذلك لأن الجذور تنمو وتعترض الماء مما يوضح ويفسر أهمية الحركة الشعريه كوسيلة أساسيه لإمداد النبات بالماء .

معدل نمو الجذور rate of root extension

سبق أن ذكرنا أن الحركه الشعريه للماء تتعاظم الفائدة منها نتيجة معدل نمو وأستطالة الجذور الذى يؤدى إلى خلق نقط إتصال جديدة ومستمرة بين التربه الرطبه والجذور . وفى بعض النباتات يكون معدل نمو وأستطالة الجذور سريع جدا للدرجة التى يتمكن بها النبات من إمتصاص إحتياجاته المائيه . ويوضح الجدول (6-3) طول جذور نبات فول الصويا فى إحدى التجارب مع العلم أنه يجب إضافة أطوال ألاف الشعيرات الجذريه الموجودة فى النبات إلى أطوال الجذور الموجودة بالجدول وهو ما يوضح الأطوال الهائله لجذور النباتات .

جدول (6-3) : أطوال جذور نبات فول الصويا على أعماق مختلفة فى تربه لوميه سلتيه

عمق التربه (cm)	طول الجذر (km/m^3)	
	تربه مرويه	تربه غير مرويه
0 - 16	89	76
16 - 32	37	30
32 - 48	27	21
48 - 64	16	14

ويتضح من الجدول السابق أن معدل نمو وأستطالة الجذور وأختراق الجذور مناطق جديدة من التربه يلعب دورا هاما فى إمداد النبات بإحتياجاته المائية وهذا يدفعنا إلى استنتاج أن حركة الماء الشعريه ومعدل نمو وأستطالة الجذور يمكن أعتبارهما الوسيلتين الآساسيتين لإمداد النبات باحتياجاته المائيه وأن هاتين الوسيلتين مكملتين لبعضهما البعض .

إنتشار الجذور root distribution

إنتشار الجذور فى القطاع الأرضى يحدد لدرجة كبيرة قدرة النبات على إمتصاص ماء الأرض . فبعض النباتات مثل الذره وفول الصويا تتركز جذورهما فى

الطبقة السطحيه من القطاع على عمق (25 - 30 cm) جدول (4-6) . وعلى النقيض من ذلك نجد أن جذور نبات البرسيم وأشجار الفاكهة لهم نظام جذرى عميق يمكنهم من إمتصاص الماء من الطبقات تحت السطحية فى القطاع.

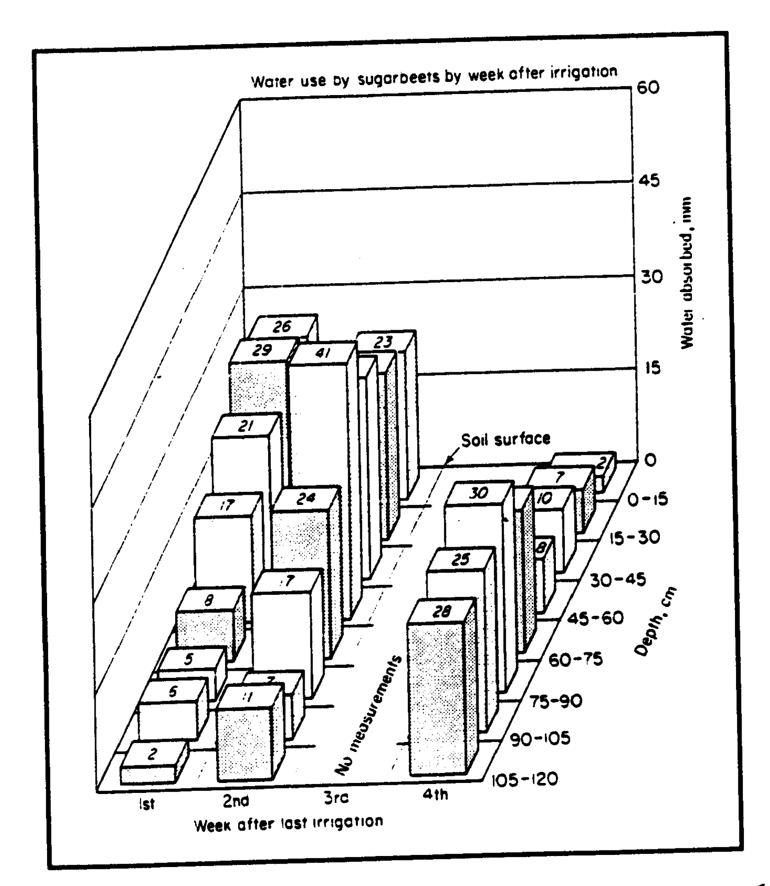
جدول (4-6) : النسب المئويه لكتلة جذور ثلاث محاصيل والموجودة فى الطبقات السطحيه والتحت سطحيه

المحصول	(%) للجذور على	
	عمق 30 cm من السطح	عمق 30 - 180 cm
فول الصويا	71	29
الذره	64	36
الذره الرفيعه	86	14

عمق التربه الذى يستخلص منه النبات الماء

Depth of Water Extraction

تمتص المحاصيل المرويه معظم أحتياجاتها المائيه من عمق صغير فى التربه فحوالى 40% من إحتياجات النبات المائيه يتم الحصول عليها فى خلال أيام قليلة بعد الرى وذلك من عمق حوالى 30 cm . وبعض الحشائش قد تستخلص الماء الذى تحتاجه من أعماق أقل (10-15 cm) (شكل 6-24) وعندما ينمو النبات ويحدث جفاف للتربه بعد أيام من الرى فإن النبات يحصل على بعض إحتياجاته المائيه بواسطة الجذور العميقة من طبقات أكثر عمقا قد تصل إلى 60 cm . ونستخلص من ذلك أن الحفاظ على سطح التربه بعمق 30 cm فى حاله رطبه ضرورى لنمو النبات وذلك لأن معظم جذور النبات تتواجد عند هذا العمق .



شكل (6-24) :

كميات الماء الممتصه بواسطة جذور نبات بنجر السكر من أعماق مختلفة من التربه خلال أسبوع بعد إتمام عمليـة الرى . التربـه جيريه ذات درجة حموضة = 8.0 ويلاحظ أن 67% مـن المـاء الممتص فى الأسبوع الأول قد تم من عمق 45 cm . وفى الأسبوع الثانى بعد الرى حـوالى 46% من الماء الممتص تم أستخلاصه من عمق 45 cm بينما فى الأسبوع الرابع بعد الرى أستخلص النبـات حـوالى 14% من احتياجاته من عمق 45 cm ، 63% من أحتياجـاته مـن عـمق 75-120 cm. ويجـب الأخذ فى الاعتبار أن نوع النبات وخواص الجـذور وعوامـل أخـرى سـوف تحـدد طبيعة إستخلاص النبات للماء .

فترات إحتياج النبات للماء

من البديهى أن أكثر الاوقات التى يحتاج فيها النبات إلى المـاء هى تلك الأوقات التى يبدأ فيها النبات فى الذبول ولكن المشكله أن ظهور أعراض الذبول على النبـات تتم فى الوقت الذى يكون فيه نمو النبات إنخـفض بدرجـة كبـيرة . ويحـدث الذبـول عـادة نتيجـة لعدم وجـود رطوبه كافيه فى التربه . ومع ذلك فـذبول النبات يمكن أن يحدث فى وجود رطوبه كافيه فى التربه فى الأيام الجافه الدافئه وذلك لأن معدل فقد الماء عن طريق البخر ـ النتح evapotranspiration يكون أعلى مـن معـدل إمتصـاص النبات للماء . كثير من محاصيل الحبوب يمكن أن تظهر عليها أعـراض ذبـول مؤقـت فى فترات النمو الأخيرة وبدون أن يحدث نقص كبير فى محاصيل الحبـوب . ويـؤدى ذبول النبات ـ بوجه عام إلى خفض النمو الخضرى لجميع المحاصيل .

توجد فترات حرجه بالنسبه للنبات بوجه عام يكون فيها نقص المـاء ضـار جـدا بالنسبة لنمو النبات. فبالنسبة للنباتات المنتجة للحبوب فـإن فـترة النمـو بـين الإزهـار وتكوين الحبوب تكون هى الفترة الحرجه . فإذا حدث تعطيش للنبات فى هـذه المـدة فإن محصول الحبوب سوف ينخفض بدرجة كبيرة . ويوضح الجدول (6-5) إنخفـاض المحصول لعدد من المحاصيل نتيجة للعطش . ونفس الشىء ينطبق على محاصيل الفاكهة والمحاصيل المنتجة للألياف . كما يوضح نفس الجـدول إختـلاف مراحـل النمـو التـى يتأثر بها النباتات بالعطش تبعا لنوع النبات .

نمط إستهلاك وكفاءة أستخدام الماء

Consumptive Use and Water Efficiency

يحتاج النبات لنموه كميات من الماء أكبر كثـيرا مـن كميـة الميـاه الموجـودة فـى أنسجته وذلك نظرا لفقد كميات كبيرة من المياه من سـطح التربـه عـن طريـق البخـر evaporation وأيضـا لفقـد النبـات كميـات كبـيرة مـن المـاء عـن طريـق النتـح transpiration . والماء المفقود عن طريق البخـر وعـن طريـق النتـح يطلـق عليـه المـاء المفقود بواسطة البخر – نتـح (ET) evapotranspiration وهـذا المـاء تقريبـا يعـادل الكمية التى يستهلكها النبات . ويعرف أستهلاك الماء consumptive-use بأنه كمية

الماء المفقود بواسطة البخر - نتح بالإضافه إلى كمية الماء الموجود فى أنسجة النبـات . ويقدر الماء الموجود فى أنسجة النبات بحوالى 0.1% من المـاء الكلى الـذى تستهلكه النباتات بطيئة النمو وحوالى 1% من الماء الكلى الذى تستهلكه النباتات ذات الكفاءة العالية فى إستخدام المياه .

جدول (6-5) : تأثير الجفاف (dryness) على إنتاج المحاصيل

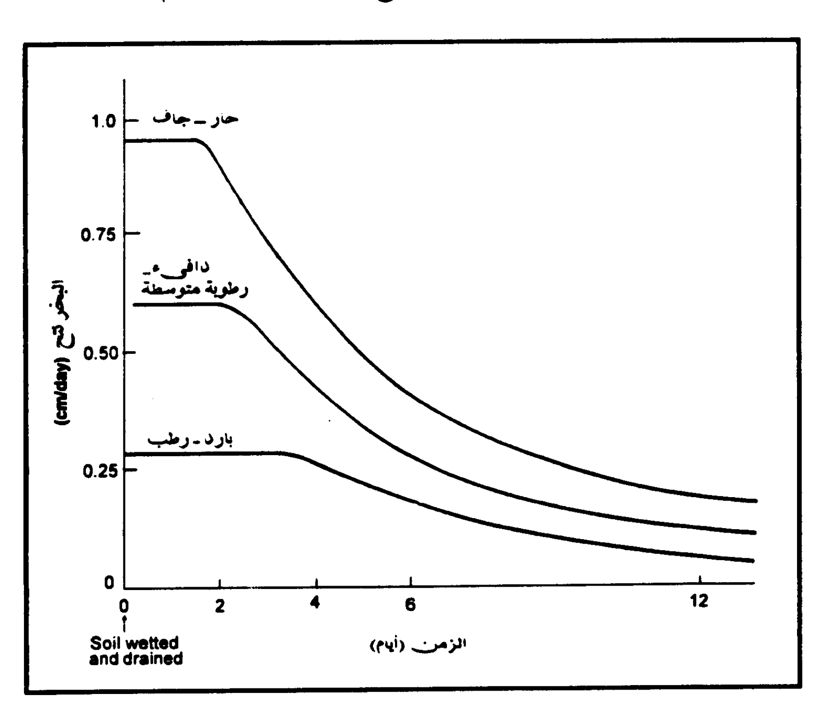
وقت الجفاف (نقص الماء)	نقص المحصول %
خمسة أسابيع قبل ظهور ear	
محصول الحبوب (القمح)	70
المجموع الخضرى لنبات القمح	52
20 يوم خلال ملأ الحبوب grain filling	
المجموع الخضرى لنبات الذره	30
محصول الحبوب (ذره)	47
مرحلة النمو التى يحدث فيه أكثر إنخفاض للمحصول	**المحصول**
١- لا يتحمل العطش ويحتاج إلى مستوى رطوبى عالى باستمرار	القرنبيط
٢- من بداية مرحلة الأزهار إلى بداية مرحلة الأثمار أو تكوين البذور	الشعير - الفول - الموالح -القطن - الفول السودانى - الذره الزيتون - عباد الشمس - فول الصويا - الطماطم - القمح
٣- من مرحلة الإثمار إلى الحصاد	الكرز - الخس - البطاطس الخوخ - الفراولة - اللفت البطيخ
٤- مرحلة تكوين الرؤوس	بروكلى - الكرنب - الخس
٥- مرحلة النمو الخضرى السريعه	البرسيم - قصب السكر - الدخان

FAO . " Crop water Requirements" Irrigation and Drainage paper 24, FAO, Rome, 1975 .

البخر - نتح Evapotranspiration

يتأثر البخر - نتح بحالة المناخ فنجد أن البخر - نتح يزيد عندما يكون الهواء جافا (رطوبه نسبيه منخفضه) دافئا ومتحركا (وجـود ريـاح) . أيضـا يزيـد البخـر - نتـح عندما تكون الرطوبه الأرضية عند السعه الحقليه (شكل 6-25) .

على الرغم من أن إستهلاك النبات للماء يعد كبيرا إلا أنه أقـل مـن كميـة الميـاه التى تتبخر من سطح مائى حر يغطى نفس المساحة التى تغطيها النباتات ويقدر بحوالى 50 - 90% مـن كمية المياه المتبخره من السطح المائى الحر (جدول رقم 6-6) .



شكل (6-25) :

تأثير الظروف المناخية وقدرة الأرض على إمداد النبات بالماء على معدل البخر - نتح (Miller, 1990) .

جدول (6-6) : الماء المفقود من بعض المحاصيل نتيجة للبخر - نتح مقدرا كنسبة مئويه من كمية الماء المتبخر في الحاله القياسيه من سطح مائي حر .

المحصول	(٪) من كمية الماء المتبخر من سطح مائي (الحاله القياسية)			
	يناير	أبريل	أغسطس	نوفمبر
البرسيم	55	85	90	70
الموالح	50	55	55	50
العنب	15	40	60	25
قصب السكر	75	50	75	90

ويتراوح عمق الماء المفقود يوميا بين 0.1 cm خلال المرحلة المبكره من نمو النبات النامي في مناخ بارد إلى 1.3 cm خلال نفس مرحلة النمو ولكن في مناخ حار جاف كما هو موضح في الجدول التالي :

المحصول	عمق الماء المفقود يوميا (cm) خلال مراحل النمو		
	٢٠ يوما بعد الزراعة	50٪ من مساحة الأرض تحت تغطيتها بواسطة النبات	تغطية كاملة للأرض بواسطة النبات
البرسيم	0.41	0.79	1.00
الفول	0.21	0.51	1.07
الذره	0.21	0.49	0.49
بسله	0.22	0.51	0.22
بطاطس	0.12	0.41	0.91
بنجر السكر	0.12	0.41	0.91

كفاءة أستخدام الماء Water Use Efficiency

هو إصطلاح يستخدم للتعبير ببساطه عن مدى كفاءة إستخدام النبات للماء لإنتاج المادة الجافة وتعرف كفاءة إستخدام الماء تحديدا بأنه " كمية الماء (تشمل مياه النتح - نمو النبات ، البخر من التربه ، الصرف) المطلوبه لأنتاج وحدة الوزن (كجم) من الماده الجافه" .

ويستخدم تعبير نسبة النتح transpiration ratio (TR) للتعبير عن كفاءة أستخدام المياه وهى تساوى :

$$\text{نسبة النتح (TR)} = \frac{\text{كتلة الماء المفقود عن طريق النتح}}{\text{كتلة المادة الجافة المنتجة}}$$

وتتراوح قيمة نسبة النتح بين 200 - 1000 بوجه عام أما فى المناطق الشديدة الحرارة والجفاف المرويه فتتراوح نسبة النتح بين 600 - 1000 وقد تستخدم نسبة النتح لحساب كميات المياه اللازمة لرى بعض المحاصيل فمثلا لو أن حقل يزرع بالبرسيم وينتج 10 طن لكل هكتار ونسبة النتح تساوى 500 . فيصبح الماء المستخدم فى كل هكتار = 10,000 × 500 = 5,000,000 kg ماء (حوالى 50 - hectare - cm - وزن ha - cm من الماء يساوى 100,000 kg) .

مراجع الفصل السادس

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Doss, B.D.; R.W. Pearson and H.T. Rogers (1974). Effect of Soil Water Stress at Various Growth Stages on Soybean Field. Agronomy Journal 66: 297 - 299.

FAO (1975). Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome.

Gardner, W.H. (1979). How Water Moves in the Soil. Crop and Soil Magazine. PP. 13 - 18.

Hagen, R.M.; H.R. Haise and T.W. Edninster (1967). Irrigation of Agriculture Lands. No. 11 in Agronomy Series, American Soc. of Agronomy, Madison, Wis.

Hanks, R.J. and G.L. Ashcroft (1980). Applied Soil Physies, Springer - Verlag, New York.

Hillel, D. (1980). Fundamental of Soil Physics. Academic Press. New York.

Hillel, D. (1982). Application of Soil Physics. Academic Press. New York.

Miller, W.R.; R.L. Donahue and J.M. Miller (1990). Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice - Hall International, Inc. N. J.

الشافعي ، يحيى وعماره ، مصطفى (1997) . أساسيات علم الأراضي . قسم الأراضي - جامعة الاسكندرية .

عبد العظيم ، نجيب محمد (1997) . الري . الأساسيات والتطبيق في إستصلاح الأراضي . منشأة المعارف - الاسكندرية .

الفصل السابع

هـواء ودرجـة حـرارة الأرض

Soil Air and Temperature

✧ هـــــواء الأرض

◊ تركيب هواء الأرض
◊ تهوية الأرض
◊ مشاكل سـوء التهوية

✧ درجة حرارة الأرض

◊ العلاقة بين درجة حرارة الأرض وهواء الأرض
◊ العوامل المؤثرة على درجة حرارة الأرض
◊ أيام درجة النمــو



7

هـــواء ودرجة حرارة الأرض

Soil Air and Temperature

ذكرنا سابقا أن الماء والهواء يمثلان نصف حجم التربه تقريبا وقد تكلمنا فى الفصل السابق عن ماء الأرض وفى هذا الفصل سوف نتكلم عن هواء الأرض ودرجة حرارة الأرض علما بأن هاتين الخاصيتين تتأثران بشدة بماء الأرض .

هـــواء الأرض Soil Air

هواء الأرض ذو أهمية كبيرة لجميع الكائنات الحية فى التربه لكى تكمل دورة حياتها . فجذور النبات تمتص غاز الأكسجين من هواء التربه وتطرد غاز ثانى أكسيد الكربون خلال عملية التنفس كما أن هواء التربه أساسى للكائنات الحيه الدقيقة لكى تقوم بدورها فى تحلل المادة العضويه . وبطبيعة الحال فإن هواء الأرض يتواجد فى المسام pores وتقل نسبة الهواء فى الأرض كلما أمتلأت هذه المسام بالماء.

تركيب هواء الأرض Composition of Soil Air

لكى نفهم هواء الأرض فيجب أن نعلم أن الهواء الجوى يحتوى على الغازات التاليه الموجودة فى هواء الأرض :

النيتروجين (N_2)	79%
الأكسجين (O_2)	20.9%
ثانى أكسيد الكربون (CO_2)	0.03%
بخار الماء (رطوبه نسبيه)	20 - 90%

ونظراً لأن النباتات تمتص غاز الأكسجين وتطرد ثانى أكسيد الكربون فى عملية التنفس ولأن أكسدة المادة العضويه ينتج عنها إنطلاق غاز ثانى أكسيد الكربون فإن تركيز CO_2 فى هواء الأرض يزيد عن تركيز CO_2 فى الهواء الجوى والفرق بين تركيب هواء الأرض والهواء الجوى هو كما يلى :

هـــــواء الأرض	تربه سطحيه ٪	تربه تحت سطحيه ٪
أعلى من الهواء الجوى فى ثانى أكسيد الكربون	0.5 - 6	3 - 10
أعلى من الهواء الجوى فى الأكسجين	20.6 - 14	18 - 7
أعلى من الهواء الجوى فى الرطوبه النسبيه	95 - 99	98 - 99.5

تهوية الأرض Soil Aeration

تهوية التربه هى العملية التى نتحكم فى مستوى كلا من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى التربه . وتهوية التربه تعتبر عملية هامه جدا وحرجه بالنسبة للنظام الأرضى فلكى تستمر عملية التنفس فى التربه ينبغى إمداد التربه بالأكسجين وإزالة ثانى أكسيد الكربون منها ويتم ذلك من خلال عملية التهويه عن طريق تبادل الغازات بين التربه والجو .

فى الأراضى جيدة التهويه تكون عملية تبادل الغازات سريعة بين التربه والجو مما ينشأ عنه منع النقص فى الأكسجين وبالتالى منع الزيادة فى ثانى أكسيد الكربون السام . وحتى لا يتأثر نمو النبات فإن إمداد الهواء الأرضى بالأكسجين يجب أن يكون أعلى من 10% (المساميه الهوائيه) كما يجب عدم السماح بزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون والغازات الأخرى الضاره (الميثان) عن الحدود التى تكون ضاره للنبات .

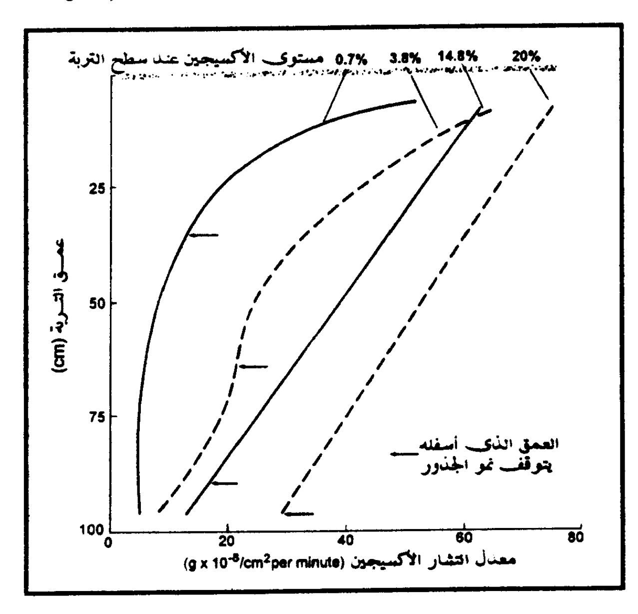
يتم معرفة حالة التهويه فى التربه عن طريق مايلى :

- **معدل إنتشار الأكسجين Oxygen Diffusion Rate (ODR)**

وتعتبر هذه الطريقة من أفضل الطرق لمعرفة حالة التهويه فى التربه حيث أن معدل أنتشار الأكسجين يحدد معدل تبادل الأكسجين فى التربه مع أكسجين الهواء

الجوى وبالتالى يحدد مدى تعويض الأكسجين المستخدم بواسطة النبات فى عملية التنفس . وبوجه عام فوجود المسام الكبيرة فى التربه يسرع من معدل أنتشار الأكسجين وتبادله مع أكسجين الهواء الجوى بينما المسام الصغيرة المملوءة بالماء تقلل من معدل أنتشار الأكسجين .

يوضح الشكل رقم (7-1) نقص معدل أنتشار الأكسجين مع عمق التربه . ويعتبر معدل أنتشار الأكسجين (ODR) ذو أهمية كبيرة بالنسبة لنمو النبات حيث وجد أن نمو جذور معظم النباتات يتوقف عندما ينخفض معدل أنتشار الأكسجين إلى حوالى 20×10^{-8} g/cm^2 per minute بينما نمو الجذور الأمثل يكون عند معدل أنتشار الأكسجين أعلى من $30\text{-}40 \times 10^{-8}$ g/cm^2 per minute (جدول 7 - 1) .



شكل (7-1) :
تأثير عمق التربه وتركيز الأكسجين عند سطح التربه على معدل أنتشار الأكسجين (ODR) . ويتوضح الأسهم المكان الذى يتوقف عنده نمو الجذور (يلاحظ أن نمو الجذور توقف عند إنخفاض معدل أنتشار الأكسجين إلى 20×10^{-8} g/cm^2 per minute (Brady, 1990) .

جدول (7-1):
العلاقة بين معدل إنتشار الأكسجين (ODR) وحالة نمو بعض النباتات . ويلاحظ بدء معاناة النبات عند إنخفاض ODR عن 40×10^{-8} g/cm³ per minute .

النبات	قوام التربه	حالة النبات	ODR (10^{-8} g/cm² per minute) 10 cm	20 cm	30 cm
بروكلى	لوم	نمو جيد جدا	53	31	38
خس	سلت لوم	نمو جيد	49	26	36
فول	لوم	إصفرار النبات	27	27	25
فراوله	رمليه لوميه	إصفرار النبات	36	32	34
قطن	طينيه لوميه	إصفرار النبات	7	9	-
موالح	رمليه لوميه	نمو جذرى سريع	64	45	39

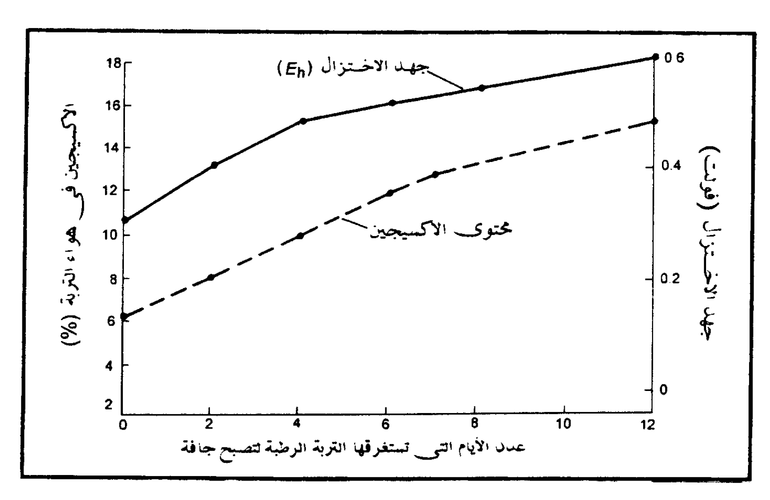
• جهد الأكسدة والأختزال Oxidation Reduction Potential (E_h)

أحد الخصائص الكميائيه للتربه والمتعلقه بتهويه التربه هو حالة الأكسدة والأختزال التى تتواجد فيها العناصر فى التربه ففى الأراضى جيدة التهويه تسود صور العناصر التالية (أكسدة) :

حديديك (Fe^{3+}) ، مانجانك (Mn^{4+}) ، نترات (NO^{3-}) وكبريتات (SO_4^{2-}) أما فى الأراضى سيئة التهويه تسود صور العناصر التالية (الحاله المختزله) : حديدوز (Fe^{2+}) مانجانوز (Mn^{2+}) ، أمونيوم (NH_4^+) ، كبريتيد (S^{2-}) .

ويستدل على حالة الأكسدة والأختزال فى التربه عن طريق جهد الأكسدة والأختزال Redox potential (E_h) ويقاس بالفولت أو المليفولت .

وقيم (E_h) الموجبه والعالية تدل على وجود ظروف أكسدة قويه (تهويه جيدة). أما قيم E_h السالبه والمنخفضه فتدل على وجود ظروف إختزال (تهويه رديئه) ويوضح الشكل (7-2) علاقة الارتباط الموجبه بين محتوى هواء التربه من الأكسجين وجهد الأكسدة والأختزال .



شكل (7-2) : العلاقة بين نسبة الأكسجين فى هـواء الأرض وجهـــد الأكسدة والأختزال . (Meek and Grass, 1975)

مشاكل سوء التهويه فى الحقل Soil Aeration Problems in the Field

سوء تهويه الأرض فى الظروف الحقلية تحدث نتيجة لسببين :

أ- عندما يكون المحتوى الرطوبى فى الأرض عالى لدرجة لا تسمح بوجود فراغـات للغازات.

ب- عندما يكون تبادل الغازات بين الأرض والجـو بطيئـا لدرجـة تـؤدى إلى نقـص تركيز الغازات فى هواء الأرض عن الحد المطلوب علما بأن ذلك ممكن حدوثـه على الرغم من وجود فراغات مساميه فى التربه . وسوف نتكلم بإختصـار عـن هذين السببين .

أ ـ زيادة المحتوى الرطوبى Excess moisture

تشبع الأرض بالماء له تأثير سيء على نمو النبات وتحدث حالة التشبع فى الحقـل عند :

i. وجود مكان منخفض فى حقل مستو وينتج عن ذلك تجمع المياه فى هذا المكـان لمدة زمنية قليلة وهذه المدة قد تكون كافيه لإحداث ضرر بالغ على النباتات فـى هذا المكان المنخفض .

ii. سقوط مطر غزير أو الرى بكميات زائدة فى الأراضى جيدة البناء قد يـؤدى إلى تشبع الأرض بالماء خلال فترة سقوط الأمطار أو عمليـة الـرى . كمـا أن تشـبع الأرض قد يحدث فى حالة إنضغاط التربه نتيجـة إستخدام المعـدات الثقيلـة فـى عملية الحرث .

ولذلك ينصح بعمل صرف صناعى فى الأراضى ثقيلة القوام .

ب ـ تبادل الغازات Gaseous interchange

تزداد الحاجه إلى تبادل الغازات بين التربه والجو كلما زاد إستهلاك الأكســجين بواسطة النباتات والكائنات الحيه الدقيقة . ويحدث تبادل الغازات عن طريق الأنتشار diffusion ، الانتقال الكلتى mass flow . ويحدث الإنتقال الكتلى للهواء نتيجة فرق الضغط بين هواء الأرض ، الجو وإن كان تبادل الغـازات عـن طريـق الأنتشـار أكـثر أهمية من الانتقال الكتلى . ويزيد إنتشار الغازات بزيادة تذبذب المحتوى الرطوبى فى التربه فعندما يتحرك الماء فى الأرض خـلال سـقوط الأمطـار أو عمليـة الـرى يحـدث إندفاع للهواء فى الأرض . أيضا يدخل الهواء إلى التربه عند فقد الماء مـن التربـه عـن طريق البخر أو النتح بواسطة النبات .

وتبادل الغازات فى التربه يحدث أساسا عن طريق الأنتشار ويتحدد إتجاه حركـة كل غاز فى التربه تبعا للتدرج فى الضغط الجزئى للغاز parital pressure gradient.

ولما كان تركيز الأكسجين فـى الجـو أعلـى مـن تركـيز الأكسـجين فـى هـواء الأرض فإن الحركه النهائيـه للأكسـجين سـوف تكـون فـى إتجـاه الأرض . كمـا أن حركة ثانى أكسيد الكربون سوف تكون فـى الأتجـاه العكسـى أى فـى إتجـاه الهـواء الجوى نتيجة لزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربـون فـى الهـواء الجـوى بالمقارنـه بـالهواء الأرضى .

التهويه ونمو النبات Aeration and plant growth

تحتاج جميع النباتات إلى الأكسجين اللازم لعملية التنفس الضرورية لنموها ولذلك فإن وجود الأكسجين فى مسام التربه حيث توجد جذور النباتات هام جدا لنمو النبات . ومع ذلك فبعض النباتات مثل الأرز تستطيع الحصول على الأكسجين داخليا internally وذلك بتحريك الأكسجين داخليا من المجموع الخضرى (يحصل على الأكسجين من الهواء الجوى) إلى المجموع الجذرى . ولذلك فإن هذه النباتات تستطيع الحصول على أكسجين الهواء الجوى على الرغم من نموها فى الظروف الغدقه للتربه . وغالبا مايحدث سوء تهويه للتربه تحت الظروف التاليه :

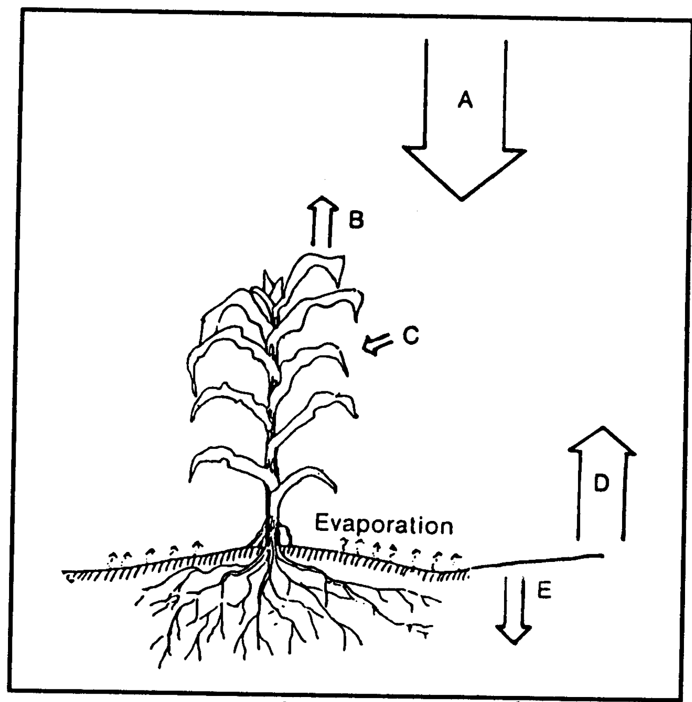
- عدم وجود صرف للتربه .
- خلال سقوط الأمطار الغزيرة على الأراضى عالية المحتوى من الطين .
- الأراضى ناعمة القوام والمنضغطه نتيجة إستخدام الآلات الثقيله فى العمليات الزراعية .
- الأعماق الكبيرة فى الأراضى الطينبيه ذات البناء الكتلى .
- تحلل المادة العضويه بواسطة الكائنات الحيه الدقيقة فى الأراضى التى يكون معدل إنتشار الأكسجين فيها منخفضا وذلك لأن أكسدة الماده العضويه عمليه مستهلكه للأكسجين .

درجة حرارة الأرض Soil Temperature

تؤثر درجة حرارة الأرض على نمو النبات وكمية المحصول . كما تؤثر درجة الأرض على وقت الزراعة ، ووقت الإنبات وعدد الأيام اللازمه لنضج الثمار . فإرتفاع درجة حرارة التربه يؤدى إلى سرعة تطور الجذور وزيادة كمية العناصر الصالحه للأمتصاص النبات وأيضا زيادة سرعة حركة المياه والنشاط الميكروبى . تختلف درجة الحرارة المثلى لأنبات البذور تبعا لخواص البذور والمحصول ـ وإنبات غالبية البذور يكون عند درجة حرارة أعلى من 4.5°C . فدرجة الأنبات المثلى لبذور القطن والذره الرفيعه وفول الصويا تتراوح بين (12.7C - 15.6°C) أما درجة الأنبات المثلى لبذور الذره تتراوح بين (10 to 12.7°C) .

مصــدر الحـــرارة

تتأثر درجة حرارة التربه بكمية الطاقه الشمسية التى تصـل إلى الكـره الأرضيـة وأيضا بخواص التربه المختلفة . وتعتمد كمية الحرارة الممتصه على زاوية سقوط أشـعة الشمس على سطح التربه وأيضا على لون التربه ونوع الغطاء النبـاتى . فعنـد سـقوط أشعة الشمس على سطح التربه فإن الحرارة الناتجه من أشعة الشمس تدمـص بواسـطة التربه مما يؤدى إلى رفع درجة حرارة التربه وقد تنعكس من التربـه إلى الهـواء وبالتـالى ترفع درجة حرارة الهواء . (شكل 7-3) .



شكل (7-3) : يوضح مصير الأشعة الشمسية

(A) سقوطها وتعرض النبات لها. (B) تنعكس من الغطاء النباتي.

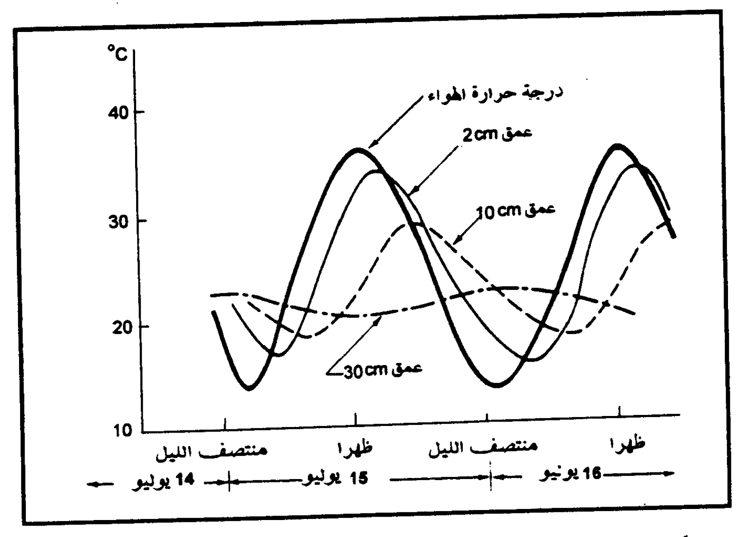
(C) تمتص بواسطة الغطاء النباتي. (D) تنعكس من التربه.

(E) تمتص بواسطة التربه وتعمل على رفع درجة الحرارة مما يسبب البخر من السطح (Evaporation).

العلاقة بين درجة حرارة الأرض وهواء الأرض

Relationship between Soil of Air Temperature

تتغير درجة حرارة التربه الناتجة من أشعة الشمس مع العمق كما تتغير فى النهار عنه فى الليل . فمثلا حرارة التربه تصل إلى الدرجة العظمى لها فى الطبقات السفلى بعد عدة ساعات من وصول درجة حرارة الهواء إلى القيمة العظمى لها . كما أن الطبقات العميقة من التربه لا تبرد بنفس سرعة الطبقات السطحية وذلك نتيجة التأثير العازل للطبقات العلويه . ولذلك ففى الطبقات السفلى من التربه لا يحدث تذبذب كبير فى درجات الحرارة من يوم إلى يوم أو خلال أوقات اليوم الواحد (شكل رقم 4-7) . تذبذب درجات الحرارة من يوم إلى يوم لا يؤثر على الطبقات ذات العمق الأكبر من 30-40 cm . كما أن الطبقات الأعمق من 1m تتغير درجات الحرارة فيها فقط من موسم إلى موسم . وبوجه عام يمكن حساب المتوسط السنوى لدرجة حرارة التربه تقريبا ذلك بإضافة 1°C إلى المتوسط السنوى لدرجة حرارة الهواء وإن كانت هذه القاعدة غير دقيقة فى المناطق الجافه المشمسه .



شكل (4-7) : تذبذب درجات حرارة التربه مع العمق (Miller, 1990) .

العوامل المؤثرة على درجة حرارة التربه

Factors Influencing Soil Temperature

لون التربه Soil color

يؤثر لون التربه على كمية الحرارة الممتصـه فالأتربـه ذات اللـون الداكـن تمتـص 75% من الحرارة الموجودة بينما الأتربه فاتحة اللون قد يصـل إمتصاصهـا للحـرارة إلى 25% .

الغطاء النباتى Vegetation cover

يقلل الغطاء النباتى من كمية الحرارة الممتصه بواسطة التربه بوجه عـام وبدرجـة أكبر فى الأتربه داكنة اللون عنها فى الأتربه فاتحة اللون . كما أن بقايا النباتات علـى سطح التربه يكون لها نفس تأثير الغطاء النباتى .

إتجاه الإنحدار Slope direction

يؤثر إتجاه ميل التربه على معـدل إرتفـاع درجـة حـرارة التربـه . فعندمـا يكـون انحدار التربه مواجها للجنوب فإن درجة حرارة التربه ترتفع بدرجة أكبر منهـا عندمـا يكون إنحدار التربه مواجها للشمال . كما أن درجة تعامد الشـمس علـى الأرض لها تأثير كبير على رفع درجة حرارة التربه فعندما تكون زاوية سقوط أشعة الشمس غـير متعامدة على سطح الأرض فإن درجة حرارة التربه تكون أقل من درجة حرارة التربـه عندما تكون الشمس عموديه على سطح الأرض (شكل 7-5) .

درجة حرارة التربه والنشاط الزراعى

Soil temperature and agriculture activitis

معرفة تأثير درجة حرارة التربه على الأنشطة الزراعية هـام جـدا وذلـك لـلإدارة الجيدة للأرض والمحصول ومثال ذلك ما يلى :

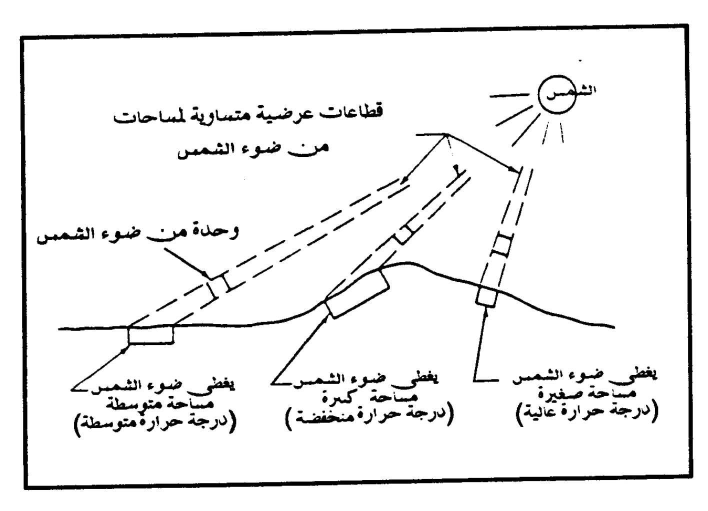
١ – للحصول على أقصى إنبات ونمو للبـذور يجـب أن تكـون درجـة حـرارة التربـه مثلى لأنواع المحاصيل المختلفة :

القمح والبسله	4 - 10 °C	الذره الرفيعه والبطيخ	> 27 °C
الذره	10 - 29 °C	الكرنب والسبانخ	8- 11°C
البطاطس	16 - 21°C	القرنبيط والبنجر	11- 18 °C
الجزر والخس والبصل	18 - 25 °C		

٢- يجب إضافة الأمونيا غير المائيه فى الشتاء عندما تكون درجة حـرارة التربـة علـى عمق 10 cm أقل من 10 °C وذلـك لأن تحـول الأمونيـا إلى نـترات عنـد هـذه الدرجة يكون بطىء جدا وبالتالى فقد النترات بالغسيل سوف يكون قليل جدا .

٣- التجمد والذوبان فى المنـاطق البـاردة يمكـن أن يـؤدى إلى مـوت النباتـات ذات الجذور غير العميقه .

٤- تعاقب دورات التجمد freezing والذوبان thawing فى الأراضى ذات المحتـوى الرطوبى المتوسط يمكن أن يؤدى إلى تحسين بناء التربه أما زيادة المحتوى الأرضـى الرطوبى عن ذلك يمكن أن يؤدى إلى هدم البناء تماما .



شكل (5-7) : تأثير الأنحدار واتجاهه وموقع الشمس بالنسبة للأرض على الأمداد الحرارى للأرض (Miller, 1990) .

التحكم فى درجة حرارة التربه :

على الرغم من التقدم الهائل فى التكنولوجيا فى الآونة الأخيرة فإن هذه التكنولوجيا لا تستطيع التحكم فى المناخ بأى صوره من الصور . وبذلك فإن التحكم فى درجة حرارة الجو غير ممكن وإنما يمكن التحكم بقدر محدود فى درجة حرارة التربه بإستخدام الطرق التاليه :

١- إستخدام الأغطيه البلاستيكيه لتغطية التربه فى المناطق الباردة أو خلال فصل الشتاء البارد يؤدى إلى رفع درجة حرارة التربه وبالتالى يمكن زراعة النباتات خلال فترات البرد الشديدة ومثال ذلك إستخدام الأغطية البلاستيكيه فى ولاية ألاسكا أدى إلى تبكير نضج الذره السكريه ثمانية أيام . أيضا أدى أستخدام الأغطية البلاستيكيه فى جنوب كاليفورنيا إلى الحصول على محصول مبكر من الفراوله قيمته حوالى 15 مليون دولار (المحصول الناتج من 2000 فدان) .

٢- إستخدام الأغطية البلاستيكيه ذات اللون الأسود فى تغطية تربه مزروعه بالأناناس فى هاواى أدى إلى زيادة فى المحصول تقدر بـ 50% وترجع هذه الزيادة فى المحصول إلى إرتفاع درجة حرارة التربه 1.5°C خلال فصل الشتاء . الأغطية البلاستيكيه تحفظ درجة حرارة التربه وأيضا رطوبة التربه كما أنها تسيطر على نمو الحشائش .

٣- خلط بقايا النباتات مع الطبقة السطحيه فى الشتاء بدلا من تركه على السطح أدى إلى زيادة محصول الذره بحوالى 40% .

٤- الزراعة الكنتورية وعلى خطوط تؤدى إلى حماية النباتات الصغيرة من درجات الحرارة المنخفضة وذلك عن طريق توجيه هذه النباتات لاستقبال كمية أكبر من الأشعة الشمسية .

أيام درجة النمو Using Temperature-Growing Degree Days

يتطلب نمو معظم النباتات كمية من الطاقة للوصول إلى مراحل النمو المختلفة مثل الإنبات والإثمار. وهذه الطاقه التى تحتاجها النباتات هى عبارة عن حاصل ضرب درجة الحرارة وساعات الأيام المطلوبه للوصول إلى مرحلة النمو المعينه .

مواعيد الزراعة ، الحصاد المثلى للنباتات ووقت إضافة الأسمدة أو رش المبيدات يمكن التنبؤ به علميا وبدقة كبيرة عن طريق حسابات الطاقة الازمه لوصول النبات إلى كل مرحله من مراحل نموه .

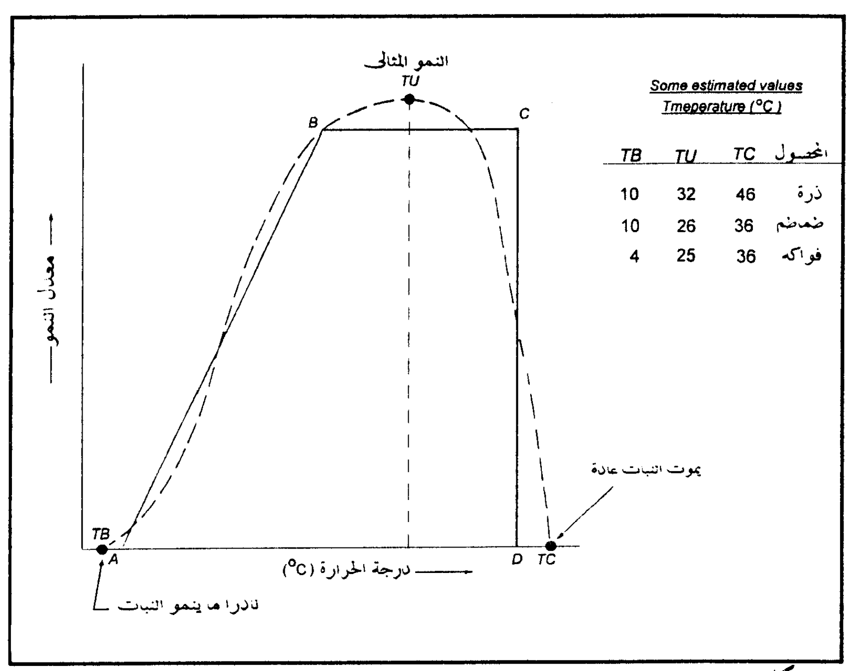
ويمكن التعبير عن أحتياجات الطاقه Energy requirements بأستخدام عدد ساعات درجة حرارة الجو الأعلى من درجة حرارة بداية النمو Base temp (TB) ويطلق على ذلك ساعات درجة النمو growing degree hours (G.D.H) (شكل 6-7) والهدف من ذلك هو حساب الإمداد الحرارى للنبات خلال أيام الصيف والشتاء بهدف معرفة متوسط التغير فى إمداد الحرارى للنبات .

وطريقة حساب متوسط درجات حرارة الأيام (الساعات) موضحه بالشكل (6-7) . فالخط المتقطع TB - TU - TC هو عبارة عن منحنى النمو تبعا لتغيرات درجة الحرارة . ولتسهيل الحسابات يمكن رسم هذا المنحنى كخطوط مستقيمة AB - BC - CD ويلاحظ من الشكل عدم حدوث نمو أسفل A (حوالى 10°C بالنسبه للذره) وزيادة النمو بإرتفاع درجة الحرارة حتى B (30°C بالنسبه للذره) ويظل النمو ثابت حتى الوصول إلى درجة الحرارة C (44°C بالنسبه للذره) . والنموذج المبسط وذلك باستخدام خطوط A- B- C- D يمكننا من حساب متوسط درجات الحرارة اليوميه بمعلومية درجة الحرارة العظمى (T_{max}) ، درجة الحرارة الصغرى ($T_{min.}$) .

ثم حساب أيام درجة النمو (GDD) باستخدام المعادله التاليه :

$$GDD = \left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - 10^\circ C\right] \text{daily}$$

علما بانه عند أستخدام المعادله السابقه يفترض أن النبات لا يستفيد من درجات الحرارة الأقل من 10°C أو أعلى من 30°C ولذلك لا تستخدم درجات الحرارة الحقيقية إذا كانت أعلى من 30°C أو أقل من 10°C .



شكل (6-7) :

تأثير درجة الحرارة على نمو النباتات (الخط المتقطع) ولتسهيل الحسابات فقد تم تبسيط المنحنى إلى خطوط مستقيمة AB - BC - CD والتعبير عنه باستخدام نموذج مبسط سهل الاستعمال (Miller *et al.*, 1990).

حساب أيام درجة النمو Calculating Growing Degree Days

مثـــال :

إحسب أيام درجة النمو لليومين التالين باستخدام المعادله السابقة

Day	Maximum Temp	Minimum Temp
1	23°C	9°C
2	32°C	13°C

الحـــــل

بالتعويض فى المعادله السابقه عن يوم (1)

$$GDD = \frac{23 + 10}{2} - 10 = 6.5 \quad GDD$$

بالتعويض فى المعادله السابقه عن يوم (2)

$$GDD = \frac{30 + 13}{2} - 10 = 11.5 \quad GDD$$

وبذلك فإن مجموع GDD فى يومىّ 1 ، 2 = 18

ويلاحظ ما يلى :

- فى يوم 1 فإن درجة الحرارة الصغرى الحقيقية هـى 9 ولكـن تم إستخدام درجـة حرارة 10°C وهو الحد الأدنى لدرجة الحرارة التى يمكن إستخدامها فى المعادله .
- فى يوم 2 فإن درجة الحرارة العظمى الحقيقية هى 32 ولكن تم إستخدام درجـــة حــــرارة 30°C وهى الحد الأقصى لدرجــة الحــرارة التــى يمكــن أستخدامها فــى المعادله .

يمكن تقدير قيم إحتياجات الطاقه Energy Requirements لمراحـل نمـو النبـات تحت الظروف المعمليه التى يمكن التحكم فيها وهــذه القيـم يمكـن إستخدامها للتنبـؤ بأوقات الزراعه والحصاد وكذلك إستخدام هــذه القيـم لمعرفـة مـدى ملاءمـة زراعـة أنواع المحاصيل المختلفة فى المناطق المختلفة بعـد حسـاب أيـام درجـة النمـو (GDD) لهذه المناطق (جدول 7-2) .

جدول (2-7) : المتوسط السنوى لأيام درجة النمو لبعض المناطق ومتوسط أيام درجة النمو (GDD) التى تحتاجها بعض أنواع الذره .

المنطقه	المتوسط السنوى أيام درجة النمو (GDD)	أنواع الذره	الإحتياجات أيام درجة النمو (GDD)
مينيسوتا	1175		
ميتشجان	2122	Dekalb XL311	2050 - 2150
أيوا	2465	Pioneer 3780	2300 - 2400
إلينوى	2651	Northrup king PX610	2400 - 2500
كولومبيا	2844		
ماتهاتن	2938		

Source : R. H. show " Growing degree units for corn in the North Central Region " Iowa state experiment station Res. Bull. 581. (1975), pp. 795 - 807 .

مراجع الفصل السابع

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Buyanovsky, G.A. and G.H. Wagner (1983). Annual Cycles of Carbon Dioxide Level in Soil air. Soil Sci. Soc. Amer. J. 47: 1139 - 1145.

Fluker , B.J. (1958) . Soil Temperature. Soil Sci. 86: 35 - 46.

Harpstead, M.I.; F.D. Hole and W.F. Bennett (1988). Soil Science Simplified. Ames. Iowa State Univ. Press.

Miller, W.R. and R.L. Donahue (1990). Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice - Hall International, Inc. N. J.

Meek, B.D. and L.B. Grass. (1975). Redox Potential in Irrigated Desert Soils as Indicator of Aeration Status . Soil Sci. Soc. Amer. J. 39: 870 - 875.

Muendel, H.H. (1986). Emergence and Vigor of Soybean in Relation to Initial Seed Moisture and Soil Temperature. Agron. J. 78: 765 - 769.



الفصل الثامن

إنجراف الأراضى

Soil Erosion

- الأضرار الناتجة عن إنجراف الأراضى
- الإنجراف بالماء

◊ ميكانيكية الإنجراف بالماء - أنواع الإنجراف بالماء - العوامل المؤثرة على الإنجراف بالماء - التقنيات المستخدمة لحماية التربة من الإنجراف بالماء

- الإنجراف بالرياح

◊ ميكانيكية الإنجراف بالرياح - العوامل المؤثرة على الإنجراف بالرياح - التقنيات المستخدمة لحماية التربة من الإنجراف بالرياح



8

إنجراف الأراضى

Soil Erosion

إنجراف الأراضى مشكلة عالمية تهـدد جميع أنـواع الأراضـى فى العـالم حيـث يؤدى قطع أشجار الغابات وإبـادة الغطـاء النبـاتى الطبيعـى وتـرك الأرض عاريـه إلى إنجراف سطح التربه بالماء والرياح وتحول الأراضى المنتجـه إلى أراضـى غـير منتجـه . ولقد قدر وزن التربه المزاله بواسـطه الإنجـراف بالمـاء والريـاح فـى الولايـات المتحـدة الأمريكية بحوالى 5 بليون طن (Mg) سنوياً . ولبيان خطورة المشكله يوضـح الجـدول (8-1) حموله بعض الأنهار من الترسيبات المنجرفه بواسطه مياه الأنهار فـى عـدد مـن دول العالم .

جدول (8-1) : الحموله السنويه لبعض الأنهار من الترسيبات الناتجه عن إنجراف الأراضى .

النهـــر	البـلـــد	الحموله السنويه من الترسيبات (مليون طن)	الإنجراف (طن / هكتار)
النيل	مصر - السودان	111	8
المسيسيبى	الولايات المتحدة الأمريكية	300	93
الأحمر	الصين - فيتنام	130	217
الأمازون	البرازيل - بيرو	363	13
كوسى	الهند - نيبال	172	555
الأصفر	الصين	1600	479
ميكونج	فيتنام - تايلاند	170	43

El-Swaify and Dangler. (1982). ASA Special Publication No. 43 Madison.

ومتوسط الفقد السنوى للأرض نتيجه الإنجراف يتراوح من 8 طن مترى/هكتار إلى حوالى 555 طن مترى للهكتار كما فى الهند وهذه القيمه (555) تعادل تقريباً وزن طبقه من الأرض بعمق 5cm لمساحة هكتار وهو ما يعد أمراً خطيراً جداً . يوضح الجدول (8-2) كمية التربه المفقودة من الأراضى الزراعية بواسطة الإنجراف لبعض بلدان العالم .

جدول (8-2) : الكمية المقدرة للتربه المفقودة من الأراضى الزراعية نتيجة الإنجراف .

البلـــد	المساحة المزروعة مليون هكتار	كمية التربه المفقوده بالأنجراف مليون طن
الولايات المتحدة الأمريكية	167	1,524
الإتحاد السوفيتى	251	2,268
الهند	140	4,716
الصين	99	3,628
بلاد أخرى	607	11,201
المجموع	1265	23.337

Brown and Wolf. (1984). World Watch. Paper 60. Washington.

الأضرار الناتجة عن إنجراف الأراضى :

١- فقد مياه الأمطار :

المبادئ الأساسيه لإداره المياه الأرضيه تهدف إلى تشجيع حركه المياه إلى داخل التربه بدلاً من حركتها خارج التربه . فالسماح للماء بإختراق التربه يؤدى إلى إستخدام التربه كمخزن للمياه يمكن إستخدامه مستقبلاً بواسطة النبات . ولذلك فإن عدم إختراق الماء للتربه وجريانه على السطح سوف يؤدى إلى فقد كميات كبيرة من الماء كان من الممكن الإستفاده بها فى الإنتاج الزراعى . وفى بعض المناطق الرطبه تم تقدير المياه المفقوده بواسطة الجريان السطحى بحوالى 50-60% من كمية الأمطار سنوياً . أما فى المناطق الجافه وشبه الجاف التى تتميز بسقوط أمطار على شكل رخات شديدة فى مدى قصير فإن معدل فقد الماء بالجريان السطحى Runoff يكون عالياً مما يهدد التقدم الزراعى فيها .

٢- فقد خصوبة التربه :

إنجراف الطبقه السطحيه من التربه بماء الجريان السطحى والرياح ينتج عنه فقد كميات كبيرة من العناصر الغذائية وذلك لغنى الطبقه السطحيه من التربه بالعناصر الغذائيه . لذا فإن إنجراف الطبقه السطحيه من الأراضى يؤدى إلى فقد هذه الأراضى خصوبتها . ويوضح الجدول (3-8) كمية العناصر الغذائيه المفقودة نتيجة إنجراف الطبقه السطحيه من الأرض فى الولايات المتحدة الأمريكية .

جدول (3-8) : الكميات المفقوده مقدره بالألف طن من عناصر النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم (الكلى والصالح) نتيجه إنجراف الطبقه السطحيه من الأراضى .

المنطـــقـه	النيتروجين		الفوسفور		البوتاسيوم	
	الكلى	الصالح	الكلى	الصالح	الكلى	الصالح
الولايات المتحدة الأمريكية	9,494	1,744	1,704	34,1	57,920	1,158

ويلاحظ من الجدول الكميات الكبيرة من العناصر الغذائية التى تفقد نتيجة الإنجراف ولقد أظهرت التجارب أن كميات النيتروجين والفوسفور فى المواد المنجرفه تعادل خمسة أضعاف الكميه الموجودة فى التربه الأصلية .

٣- ردم قنوات الرى وإطماء الخزانات :

تترسب المواد المنجرفه بواسطة المياه والرياح فى قنوات الرى والصرف وكذلك فى خزانات المياه مما يؤدى إلى ضعف كفاءتها . وإصلاح وتنظيف القنوات والخزانات عمليه مكلفه جداً وقدرت فى الولايات المتحدة الأمريكية بحوالى 15 بليون دولار وهو ما يفوق حجم الضرر الخاص بالأراضى الزراعية .

٤- نقص الأراضى المزروعه

تتعرض المناطق المزروعه لتدفق المواد المنقوله بالأنجراف من مناطق أخرى مما يسبب تلفها . كما قد تتعمق عمليه الأنجراف حتى تصل إلى مادة الأصل الصخريه كما فى حالة المنحدرات الساحليه مما يجعل هذه المساحات غير صالحة للزراعة الأقتصادية. وكل ذلك يؤدى فى النهاية إلى خفض مساحة الأراضى المنزرعة .

الأنجـــراف بالمـــــاء Water Erosion

الانجراف بالماء هو أكثر الظواهر الجيولوجيه شيوعاً وهو المسئول إلى حـد كبير عن إستواء سطوح الجبال وتطور الهضاب والوديان ودلتا الأنهـار. والغالبيـه العظمى من الترسيبات التى تظهر الآن كصخور رسـوبيه هـى فـى الواقـع نشـأت عـن طريـق الإنجراف بالماء . ويتسبب الانجراف بالماء إلى فقد كـل هكتـار أرض حـوالى 0.2-0.5 طن/ سنوياً. واذا زادت الكمية المفقودة من كل هكتار عـن الكميـه السـابق ذكرهـا نتيجه الإنجراف بالماء ففى هذه الحاله يسمى بالإنجراف السريع Accelerated ويكـون ذو طبيعه مدمره للأراضى الزراعيه .

ميكانيكية الأنجراف بالماء :

يحدث إنجراف التربه بالماء فى خطوتين وهمـا تفكيـك وتفتيـت حبيبـات التربـه المركبه والتى تعتبر مرحله تحضيريه ثم نقل هذه الحبيبات المفتته بواسطة الماء. وسـوف نوضح بأختصار كيفيه تفكك ونقل حبيبات التربه بواسطة الماء .

تأثير قطرات المطر Influnece of Raindrops

سقوط قطرات المطر على التربه له تأثير يشـبه تأثـير إنفجـار قنبلـه (شـكل 8-1) ويؤدى إلى :

أ) تفكيك حبيبات التربه الصغيرة .

ب) هدم بناء الحبيبات المركبه إلى حبيبات فرديه .

ج) إصطدام قطرات المطر بالتربه يؤدى إلى تجزئه قطرات المطر وتناثرها حاملة معهـا الحبيبات الفرديه فى ظروف الأرض المنحدرة إلى أسفل الأنحدار .

وقد يؤدى تفكك التربه إلى تكوين طبقه سطحيه صلبـه عنـد الجفـاف تمنـع نمـو البادرات وبالتالى عند سقوط الأمطار ثانيه يكـون الطريـق ممهـداً لفعـل ميـاه الجريـان السطحى وذلك لعدم قدرة الماء على إختراق سطح التربه والتسرب داخلها .



شكل (8-1) :
يوضح قطره المطر (إلى اليسار) وكذلك الطرطشه Splash الناتجه عن إصطدام قطرات المطر لأرض رطبه خاليه من المزروعات .

نقل الأرض Transportation of Soil

يتم نقل حبيبات الأرض المفتته بواسطة ماء الجريان السطحى وذلك لما للماء من قوة قطع Cut ونقل كبيرين ولذلك فإن ماء الجريان السطحى Sunface runoff يلعب دوراً هاماً جداً فى نقل التربه المفتته .

أيضاً تحت بعض الظروف فإن الطرطشه Splash الناتجه عن إصطدام قطرات المطر بالتربه عندما تكون الأمطار غزيرة يمكن أن تنقل حوالى 225 طن / هكتار . فى المناطق المنحدره تعمل الطرطشه وتساعد على نقل الحبيبات الفرديه أسفل المنحدر وبالتالى تساعد ماء جريان السطحى على تكمله مهمه نقل التربه . ولذلك تعتبر الطرطشه Splachs وماء الجريان السطحين عاملين هامين فى نقل الأرض .

أنواع الإنجراف بالماء Types of Water Erosion

تم التعرف على ثلاثة أنواع من الأنجراف بالماء وهى :

أ – الإنجراف الصفحى Sheet erosion

وفيه يتم إزاله ونقل التربه من جميع أماكن الإنحدار بطريقه منتظمه ومتجانسه . ويحدث الإنجراف الصفحى إذا كانت سرعة سقوط الأمطار أعلى من نفاذية الأرض للماء وينتج عن ذلك تراكم الماء على سطح الأرض ثم تدفقه ناحية الأماكن المنخفضة (شكل 2-8 a) . وحركة الماء تمده بالطاقه اللازمه لنقل الحبيبات المفككه بواسطة قطرات المطر ولكن لاتستطيع تفكيك هذه الحبيبات ولذلك فإن طبقه رقيقه فقط من سطح التربه Sheet يتم إزالتها من سطح التربه ويعتبر هذا النوع هو أخطر أنواع الإنجراف بالماء والذى بسببه يتم فقد كميات كبيره من الأرض .

ب– الإنجراف فى قنوات صغيرة Rill erosion

عند جريان الماء على سطح التربه يتركز الماء فى المناطق المنخفضه وبأستمرار جريان الماء فى هذه المناطق يحدث نحر فيها مما يؤدى إلى تكوين قنوات غير عميقه Rills ويمكن إزالة هذه القنوات الصغيرة عن طريق الحرث (شكل رقم 2-8 b) .

جـ– الإنجراف الأخدودى Gully erosion

زيادة جريان الماء فى القنوات الصغيرة وزيادة حمولتها من المواد المفتته يعطى للماء قوة نحر أكثر مما ينتج عنه قنوات عميقه تسمى Gully لايمكن إزالتها بواسطة الحرث (شكل رقم 2-8 c) .

العوامل المؤثرة على الإنجراف بالماء
Factors Influencing Water Erosion

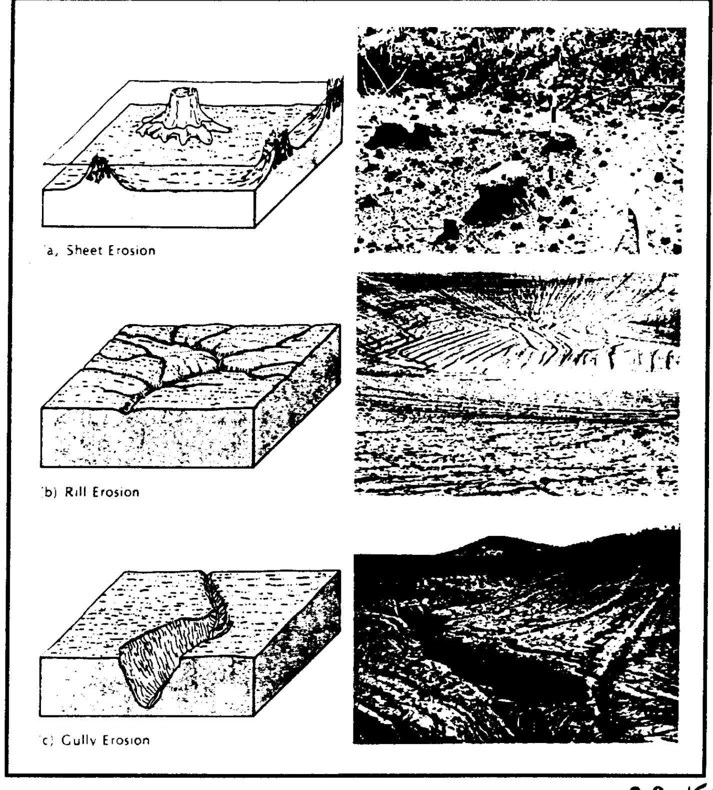
نتيجه الأبحاث المكثفه لسنوات عديدة تم التعرف على العوامل الرئيسيه المؤثرة على الإنجراف بالماء والتعبير عنها على شكل معادله يطلق عليها " المعادله العالميه لفقد التربه(Universal Soil - Loss Equation (USLE وهى :

$$A = RKLSCP$$

حيث :

A = الفاقد من التربه نتيجة الإنجراف مقدراً بالطن / هكتار فى السنه .
وهذا الفاقد هو محصله لما يلى :

R = عامل المطر والجريان السطحى	Rainfall and runoff factor
K = عامل قابلية التربه للإنجراف	Soil erodibility factor
L = عامل طول انحدار التربه	Slope length factor
S = عامل ميل الانحدار	Slope - gradient factor
C = عامل الغطاء النباتى والإداره	Vegetative cover factor
P = عامل عمليات التحكم فى الإنجراف	Erosion control practice factor



شكل (8-2) :
الأنواع الرئيسيه للإنجراف بالماء (a) الإنجراف الصفحى ، (b) الإنجراف فى قنوات صغيرة ، (c) الإنجراف الأخدودى .

والعوامل السابقه مجتمعه هى التى تحدد مقدار الماء الداخل إلى التربـه وأيضـاً مقـدار ماء الجريان السطحى وأيضاً طريقه ومعدل إزاله التربـه . وفيمـا يلـى وصـف مختصر لكل عامل حيث أن معرفه تأثير كل عامل على إنجراف التربـه سـوف يوضـح كيفيـه التحكم فى إنجراف التربه .

عامل المطر والجريان السطحى Rainfall & Runoff Factor

وهذا العامل يقيس قدرة المطر والجريان السطحى على جـرف التربـه التـى بدورهـا تتوقف على كميه المطر الكلى ، شدته . ويعتبر شدة وغـزارة المطـر أكـثر أهميـة مـن الكميه الكليه للمطر حيث أن رخات المطر الغزيرة هـى التـى تسـبب معظـم إنجـراف التربه .

ويطلق على العامل "R" أحياناً أسم دليل الإنجراف بالمطر Rainfall erosion index ويمكن حساب دليل الإنجراف بالمطر (R) بأستخدام المعادلة التاليه :

$$R = \frac{EI_{30}}{100}$$

حيث :

E = الطاقه الحركيه الكليه للمطر .

I_{30} = أعلى شدة مطر فى 30 دقيقه

ولما كان المطر السابق يختلف مـن سـنة لأخرى فـإن دليـل الإنجـراف بـالمطر يجـب حسابه سنوياً .

عامل قابليه التربه للإنجراف Soil Erodobility Factor

الخاصيتين الهامتين اللتين تؤثران على إنجراف التربه بالماء هما (١) سعه تسرب المـاء Infiltration ، (٢) ثبات البناء : وتتأثر قدرة التربه على تسـرب الميـاه إلى حـد كبـير بثبات البناء وقوام التربه ومحتوى التربه من المادة العضوية ونوع معدن الطـين ووجـود طبقات تحت سطحيه غير منفذه للماء .

وعامل قابلية التربه للإنجراف (K) يعطى دلالـة علـى مقـدار التربـه المفقـوده بـالطن المترى لكل هكتار لكل وحدة من دليل الإنجراف بالمطر (R) . ويقدر (K) تجريبياً فى

مساحة من الأرض خالية من النباتات طولها 22 متر وذات ميل 9 % .

ويتراوح قيمة (K) من صفر إلى حوالى 0.6 تبعاً لقدرة الأرض على تسرب المياه. فالأراضى الرمليه جيدة الصرف تكون قيمة (K) لها منخفض بينما الأراضى سهلة الإنجراف وقدرتها على تسرب الماء ضعيفه تكون قيمة (K) لها أكثر من 0.3 (جدول رقم 8-4) .

جدول (8-4) : قيم (K) المحسوبه لأراضى فى مناطق مختلفه .

K المحسوبه	الأرض	المنطقه
0.69	Udalf	نيويورك
0.29	Ustoll	تكساس
0.14	Alfisols	أندونيسيا
0.02	Oxisols	البرازيل
0.02	Andisols	نيجيريا
0.02	Inceptisols	بورتريكو

Cited from Brady (1990).

حساب عامل قابليه التربه للإنجراف (K)

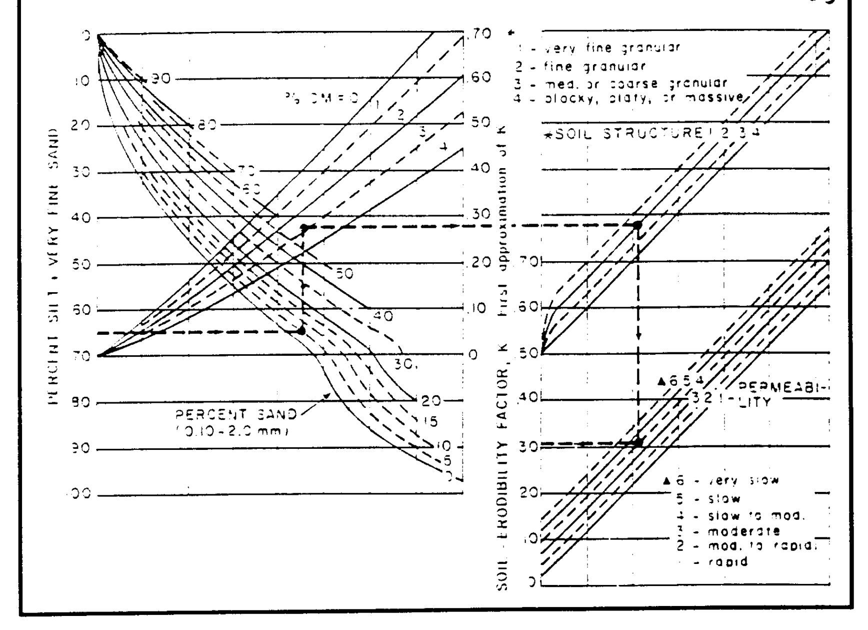
Calculating the Soil Erodibility Factor

يتم تقدير عامل قابليه التربه للإنجراف (K) بمعلومية أربع خواص للتربه وهى: قوام التربه Texture ، محتوى التربه من الماده العضويه O.M. Content ، بناء التربه Soil Structure، نفاذية التربه Soil Permeability . ولحساب قيم عامل K نعطى المثال التالى :

إحسب قيمة عامل K لأرض تحتوى على 65%(Silt+very fine sand) ، (Sand) 5%، (organic matter) 2.8 % ، Structure = 2 ، Permeablility = 4 .

الطريقه :

إستخدم الشكلين أسفله وأبدأ بالشكل الموجود على اليسار وحدد قيمة Silt + V. Fine sand = 65 % على المحور الصادى للشكل وتتبع الخط المستقيم المنقط فى الشكل لتوقيع قيم الرمل (5%) ثم إتجه لأعلى لتوقيع قيم المادة العضوية (2.8%) ثم إتجه إلى اليمين ناحية الشكل الآخر لتوقيع قيم بناء التربه ثم إلى أسفل لتوقيع قيم النفاذية Permeability (4) ثم إلى اليسار لتحصل على عامل قابليه التربه للإنجراف (K) وقيمته = 0.31 .



عامل الطبوغرافيا Topographic Factor

ويشمل عامل الطبوغرافيا (LS) كلا من عامل طول الأنحدار (L) وعامل ميل الأنحدار (S) . وعامل الطبوغرافيا (LS) هو عبارة عن مقدار التربه المفقودة من حقل ما منسوباً إلى مقدار التربه المفقوده من الوحدة التجريبيه الخاليه من النباتات وذات

ميل 9% وطول 22 متر.

ويوضح الجدول رقم (8-5) قيم عامل الطبوغرافيا (LS) عند درجات ميل وأطوال ميل مختلفه ويلاحظ زيادة الإنجراف كلما زاد ميل الانحدار وذلك نتيجة لزيادة سرعة جريان الماء. فنظرياً مضاعفة سرعة جريان الماء يؤدى إلى مضاعفة قدرة الماء حوالى 32 مرة على حمل المواد المفككه وزيادة القدرة التجريفيه للماء حوالى 4 أضعاف .

كما يتضح من الجدول أيضاً زيادة مقدار التربه المفقودة بواسطة الإنجراف بزيادة طول الانحدار .

جدول (8-5) : عامل الطبوغرافيا (LS) وتأثير ميل الانحدار وطول الانحدار .

الميل (٪)	طول الميل (متر)			
	15	30	60	90
2	0.16	0.20	0.25	0.28
4	0.30	0.40	0.53	0.62
8	0.70	0.99	1.41	1.72
12	1.28	1.80	2.55	3.13

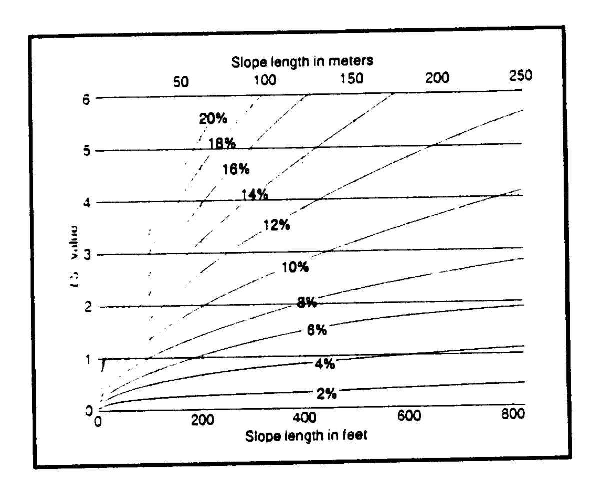
Taken from Brady (1990).

ويمكن دمج عامل طول الانحدار (L) وعامل ميل الانحدار (S) فى رسم منحنيات (شكل رقم 8-3) يمكن منها حساب قيمة عامل الطبوغرافيا LS ومن الشكل نجد أن قيمة LS = 1 عند ميل 9 % ، طول 22.1 متر .

عامل الغطاء النباتى والإداره (C)

The Cover and Management Factor

وهذا العامل يأخذ فى الأعتبار كثافة المزروعات والعمليات الزراعيه مثل الحرث والتخلص من الحشائش والرى والتسميد .... الخ . وكمية ونوع بقايا النباتات المتروكة على سطح التربه . وهذا العامل معقد جداً نظراً لتعدد المؤثرات الداخله فيه .



شكل (8-3) :

رســـم بيانى لتقدير عامل الطبوغرافيا (LS) فى المعادلة العالمية لفقد التربه .

Troeh and Thompson 1993. Soils and Soil Fertility Oxford Univ. Press. New York.

ويوضح الجدول رقم (8-6) بعض القيم المختارة للعامل (C) تحت ظروف غطاء نباتى مختلف وعمليات خدمة زراعيه مختلفه . مع العلم أنه إذا مـا كـانت قيـم العـامل (C) = 0.33 فإن الإنجراف ينخفض إلى الثلث بالمقارنـة مـع الحالـة التـى تكـون فيهـا الأرض خاليه بدون مزروعات . وقيم (C) المنخفض تعنى إنجراف أقل .

عامل التحكم فى الأنجراف Erosion Control Pratice Factor (P)

ويأخذ هذا العـامل فـى الأعتبـار الأسـاليب المختلفـه التـى يتـم أتخاذهـا لتقليـل الإنجراف بواسطة الماء مثل الزراعة الكونتوريه والزراعه على مصـاطب والزراعـة فـى شرائح Strip cropping .

ويوضح الجدول رقم (8-7) قيم عامل (P) لبعـض الممارسـات الخاصـة بصيانـة التربة من الإنجراف .

جدول (6-8) : بعض القيم المختاره لعامل الغطاء النباتى والإداره .

الغطاء النباتى	قيم عامل (C)
قطن مزروع بعد قطن (% 80 من الأرض مغطى)	0.64
قطن مزروع بعد قطن (% 80 غطاء أرض - حرث تقليدى)	0.46
ذرة (% 40 غطاء أرض - بدون حرث)	0.21
ذرة (% 90 غطاء أرض - بدون حرث)	0.03
أعشاب نجيليه (% 10 غطاء أرض)	0.20
أعشاب نجيليه (% 80 غطاء أرض)	0.013
أشجار خشبيه (% 75 غطاء أرض والباقى مغطى بالحشائش)	0.20
غابات (% 100 - 90 غطاء أرض)	0.001

Source : Wischmeier and Smith (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook 537, USDA, WA.

ويلاحظ من الجدول السابق أن أعظم حمايه للأرض من الإنجراف توفرها الغابات والأعشاب النجيليه التى تعطى الأرض تغطيه جيدة .

جدول (8-7): قيم عامل (P) للزراعة الكونتوريه والشرائح الكونتوريه لأراضى ذات ميل مختلف.

الميل	عامل P للزراعه الكونتوريه	عامل P للشرائح الكونتوريه
1-2	0.6	0.30
3-8	0.50	0.25
9-12	0.60	0.30
13-16	0.70	0.35

وأستخدام الممارسات مثل الزراعة الكونتوريه يمكن أن يخفض الفاقد من التربه بالإنجراف إلى الثلث ولذلك فإن هذا يؤخذ فى الأعتبار فى معادله فقد الأرض وذلك من خلال العامل (P) . وتعتبر قيمة العامل (P) = 1 عند عدم أستخدام أى ممارسات للتحكم فى الإنجراف ويقل هذا العامل بأستخدام الممارسات المشار إليها . ويلاحظ من الجدول أن إستخدام الشرائح الكونتوريه Contour Strip Cropping أدى إلى خفض معامل P إلى النصف .

مثـــال :

حساب الإنجراف بواسطة الماء

Sample Calculation of Erosion by Water

يمكن التنبؤ بمقدار الفقد من التربه بواسطة الإنجـراف المـائى وذلـك بأستخدام المعادله العالمية لحساب فقد التربه (USLE) .

وسوف نعرض المثال التالى :

أرض سلتيه لوميه ذات ميل = 4 % ، طـول الميـل 30 m وأن هـذه الأرض تم حرثها وتركها خاليه بدون زراعة علماً بأن عامل K لهـذه الأرض = 0.33 ، عـامل R = 150 فى هذه المنطقة .

الحـــــل

من الجدول رقم (8-5) نجد أن عـامل الطبوغرافيـا (LS) = 0.40 ولمـا كـانت هذه الأرض غير مزروعه ولايتم بها عمل أى ممارسه مـن شـأنها خفـض الإنجـراف فإن عامل (C) = 1 .

ولذلك فإن حساب المقدار المتوقع فقده من التربه يمكن حسابه بـالتعويض فـى المعادله USLE .

$$A = (150)\ (0.33)(0.40)(1.0)(1.0) = 19.8 \text{ ton/acre}$$
$$= 44.4 \text{ Mg/ha}$$

فإذا تم زراعـه الأرض بـالذره (غطـاء أرض 40 % وعـدم الحـرث) فـإن هـذا سوف يغير قيمة عامل (C) إلى 0.2 (جدول 8-6) وإذا تمت الزراعـة علـى خطـوط كونتور فإن ذلك سوف يخفض قيمة عامل P إلى 0.5 (جـدول رقـم 8-7) وبالتـالى فإن الفقد المتوقع من التربه نتيجه لهذه الممارسات سوف يصبح :

$$A = (150)\ (0.33)(0.40)(0.2)(0.5) = 1.98 \text{ ton/acre}$$
$$= 4.4 \text{ Mg/ha}$$

أى أن الغطاء النباتى والزراعة الكونتوريه لهما تأثير كبير على خفض الإنجراف بواسطة الماء .

التقنيات المستخدمة لحماية التربه من الإنجراف بالماء

يمكن الحد من إنجراف التربه بواسطة الماء وذلك بخفض تأثير العوامل المسببه له وهى تفكك التربه بتأثير قطرات الأمطار الساقطه على الأرض الخاليه من المزروعات ونقل التربه المفككه بواسطة الماء .

أ - التحكم فى تفكك التربه

يمكن التحكم فى تفكك التربه وذلك عن طريق الغطاء النباتى وعدم ترك الأرض خالية من المزروعات وذلك لأن كافة سقوط قطرات المطر يتم تشتتها بواسطة أى غطاء على التربه سواء نباتات منزرعه أو بقايا نباتات على السطح وبالتالى تكون تأثير قطرات المطر ضعيفاً وينزلق الماء ببطء على الأرض حتى يتم تسربه إلى داخل الأرض .

والتقنيات التى تتخذ للتحكم فى تفكك التربه ما يلى :

١- إستخدام بقايا المحاصيل السابقه كغطاء لسطح التربه Stubble mulch

ويتم ذلك بإستخدام الحرث تحت التربه بحيث تصبح بقايا المحاصيل السابقه على سطح التربه ثم زراعة الأرض فى وجود بقايا هذه المحاصيل وبذلك توفر الغطاء والحمايه للأرض خلال فترة ما قبل الإنبات وبعد الحصاد .

٢- استخدام الدورة الزراعية Crop Rotation

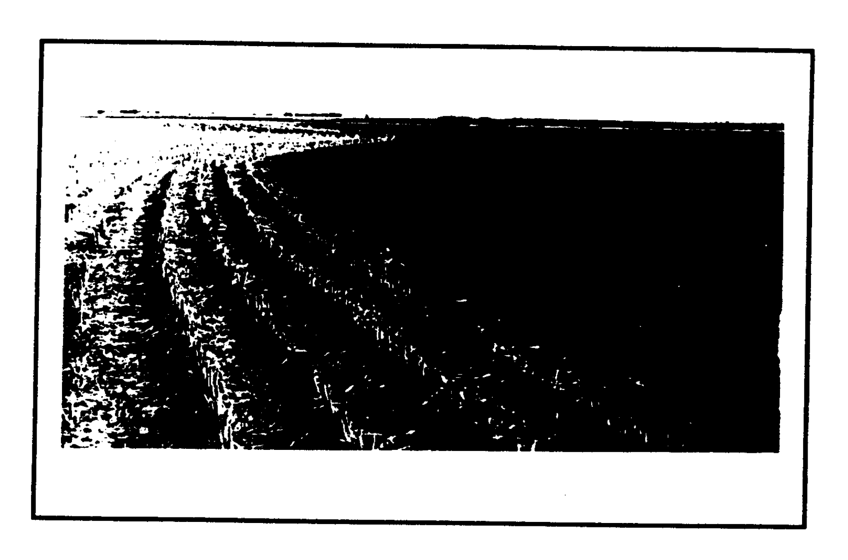
الزراعة فى دورات زراعية يتخللها محصول نجيلى يؤدى إلى توفير غطاء نباتى للأرض طوال العام وفى الوقت نفسه يساعد على ثبات بناء الحبيبات المركبه مما يؤدى إلى خفض تأثير قطرات الماء على التربه .

ب - التحكم فى نقل التربه بواسطة الماء

يمكن الحد من نقل التربه بواسطة الماء عن طريق خفض ميل الإنحدار مما يؤدى إلى خفض سرعة الماء وبالتالى تقل قدرة الماء على نقل التربه . والوسائل المستخدمة فى ذلك ما يلى :

١) الزراعة الكونتوريه Contour Farming

تستخدم الحراثه الكونتوريه Contour Farming على المنحدرات ذات الميل البسيط لتقليل التدفق السطحي للماء وتوجيهه نحو الخطوط قبل أن يتحرك لأسفل وبالتالى يزداد مقدار الماء الذى ينفد فى باطن الأرض مما يقلل من الأنجراف . ويقصد بالحراثه الكونتوريه هو أن يكون الحرث موازياً لخطوط الكونتور أى عمودى على انحدار الأرض لأن حرث الأرض فى أتجاه الأنحدار يعمل على سرعة تدفق الماء على المنحدر وبالتالى تزداد قدرته على نحر التربه وجرفها (شكل رقم 8-4) .



شكل (8-4) : الزراعه الكونتوريه (الزراعه فى خطوط موازيه لخطوط الكونتور أى عمودى على انحدار الأرض) .

٢) الشرائح الكونتوريه Contour Strip Cropping

وفيه يتم تقسيم المنحدر إلى شرائح موازيه لخطوط الكونتور وتزرع هذه الشرائح بالمحاصيل بالتبادل مع الأعشاب والحشائش فتزرع شريحه بالمحصول وتترك الشريحه التاليه مغطاه بالحشائش الطبيعية التى تستخدم كمراع وهكذا . وعند تدفق مياه الأمطار الساقطه على المنحدر تجرف معها بعض الطين والسلت من الشريحه المزروعه بالمحصول وعند مرورها على الشريحه التاليه المغطاه بالمراعى يقل سرعة تدفق الماء وبالتالى يرسب (شكل رقم 8-5) المواد المحموله التى سبق نحرها من الشريحه السابقه .

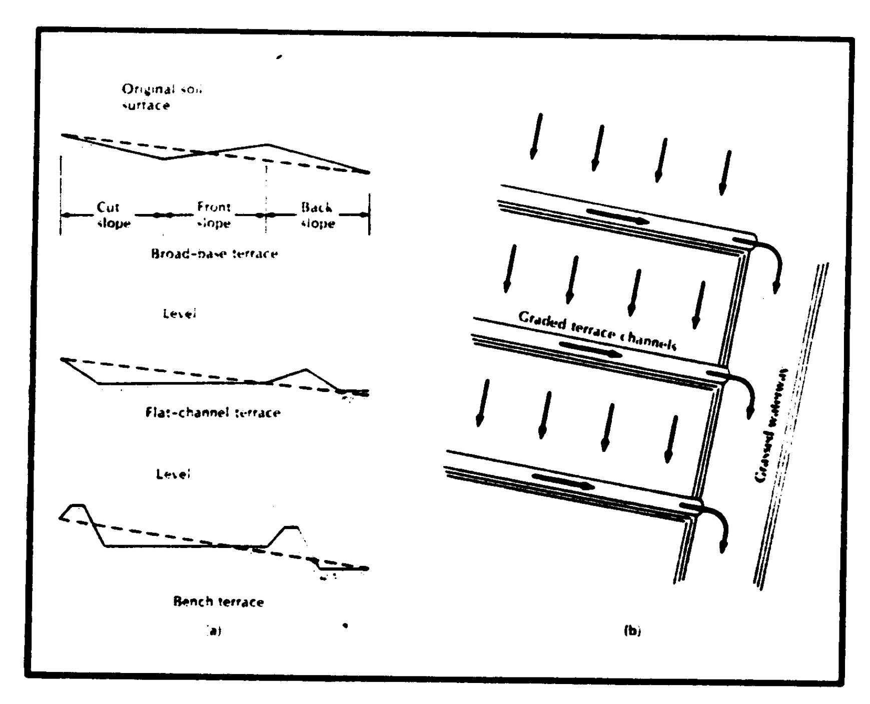


شكل (8-5) : حقل مزروع بطريقه الشرائح الكونتوريه .

٣) المصاطب Terraces

وهى عبارة عن أرصفه ترابيه تنشأ عموديه على ميل المنحدر لتقطع التدفق السطحى للماء وتنقله إلى مخرج يتناسب وبسرعه لاتؤدى إلى نحر الأرض وكذلك

تستخدم المصاطب لتقصير طول المنحدر. ويوجد العديد من أنواع المصاطب موضحه بالشكل رقم (6-8) .



شكل (6-8) : أنواع المصاطب Terraces .

الإنجراف بالرياح Wind Erosion

إنجراف الأراضى مشكلة خطيرة فى أراضى المناطق الجافه وتحت الجافه والتى تمثل حوالى $^1/_3$ مساحة الأراضى فى العالم. وتمثل أراضى المناطق الجافه Aridisols حوالى 18.76% من أراضى العالم بينما تمثل الصحارى الرئيسيه فى العالم حوالى 11.6% من مساحة أراضى العالم وتعتبر Sahara فى شمال أفريقيا من أكبر المناطق الصحراوية فى العالم وتمثل 6% من مساحة الأراضى فى العالم .

والأنجراف بالرياح يحدث فى المناطق التى يكون سقوط المطر فيها أقل من 50cm فى السنة حيث تكون الأرض جافه ذات درجة بناء ضعيفه وخاليه من المزروعات والرياح قويه. كما قد تتعرض الشواطئ الرمليه فى المناطق الرطبه للإنجراف بالرياح نتيجه لسرعه الرياح العاليه فى هذه المناطق .

ميكانيكية الإنجراف بالرياح :

يحدث الإنجراف بالرياح عادة بتأثير عمليتين: تفكيك الحبيبات ثم نقل الحبيبات. وتزداد قابلية حبيبات التربه للتفكيك كلما كانت الرياح محمله بكميات كبيرة من حبيبات التربه إذ يؤدى إصطدام الحبات المحموله سريعه الحركة بحبيبات التربه المركبه الى تفكيكها وتحريكها .

وتنتقل الحبيبات المفككه بإحدى الطرق الآتيه :

١- الوثب Saltation

وهو إرتفاع الحبيبات الى أعلى ثم سقوطها إلى الأرض ثانية بعد مسافه قصيرة وتتم هذه العمليه فى تتابع مستمر (شكل 8-7) . وفى هذه الحاله فإن الحبيبات نادراً ما ترتفع لمسافه أعلى من 30 cm . حوالى % 60 أو أكثر من حركة حبيبات التربه فى الإنجراف بالرياح تتم عن طريق الوثب .

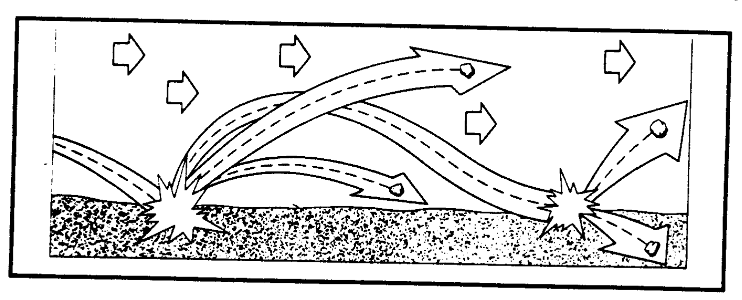
٢- الزحف Soil Creep

عندما تعجز الرياح عن حمل حبيبات التربه لأعلى لضعف شدتها أو لكبر حجم الحبيبات المحموله فإن هذه الحبيبات تزحف على سطح التربه للأمام وقد تصطدم بحبيبات أخرى أكبر تقوم بدفعها أمامها . وميكانيكية إنتقال حبيبات التربه عن طرق الزحف يكون أساساً للحبيبات ذات القطر الأكبر من 0.84 mm وإنتقال الحبيبات بهذه الطريقه يكون مسئولاً عن نقل حوالى % 25-2 من الكميه الكليه المنقوله.

٣- النقل على شكل معلق Suspension

وفيه تتحرك الحبيبات الدقيقه من الرمل الناعم أو الأقل حجماً إلى أعلى وتوجد فى الهواء على شكل معلق Suspension وتتحرك موازيه لسطح الأرض ويمكن

للحبيبات المنقوله بهذه الطريقه أن ترتفع لأعلى مئات الكيلومترات ولاتعـود لـلأرض ثانية إلا بعد سكون الريـاح أو هطـول الأمطـار . وهـذه الطريقـه هـى المسئولة عـن حركة حوالى 40% - 15 من الكمية المنقوله بواسطة الرياح.



شكل (7-8) : يوضح نقل حبيبات التربه بطريقه الوثب Saltation
Hughes (1980). Conservation farming (Moline, 1 L: Deere company)

العوامل المؤثرة على الإنجراف بالرياح
Factors Affecting Wind Erosion

يتأثر الإنجراف بالرياح بالعديد من العوامل فمثلاً يزيد الإنجراف بالريـاح عندمـا (i) تكون قوة الالتصاق بين الحبيبات صغيرة Less cohesive (ii) الحبيبـات المفككـه صغيرة الحجم (iii) لايوجد غطاء نباتى كـافٍ (iv) سـرعة الريـاح عاليـه (v) الأرض جافه .

وبوجه عام فإن الأراضى ذات المحتوى المنخفض من الطين والمحتـوى العـالى مـن الرمل الناعم والسلت الخشـن يكـون بناؤهـا ضعيفـاً . وبالتـالى فالحبيبـات فـى هـذه الأراضى يمكن تفككها بسهوله ونقلها إذا مازادت سرعه الرياح عن 20 km/h. كما أن الأرض الرطبه تكون أقل عرضه للإنجراف بالرياح .

والآن يستطيع العلماء التنبؤ بمدى قوة الإنجراف بالرياح قبـل حدوثـه ممـا يتيـح الفرصه لعمل الممارسات اللازمه لحمايـه التربـه مـن الأنجـراف بالريـاح . وحسـابات الانجـراف بالرياح تتـم بأستخـدام معـادلة الانجـراف بالريـاح Wind erodobility equation وسوف نتناول بالشرح المبسط هذه المعادله وكيفيه استخدامها مع إعطـاء

مثال عن منطقه واحدة تتوفر لنـا البيانـات الخاصه بهـا وهـى منطقـه جنـوب غـرب تكساس بالولايات المتحدة الأمريكية .

ومعادلة الانجراف بالرياح هى كالآتى :

$$E = f(I, K, C, L, V)$$

حيث :

E : الفقد الكلى السنوى مقدراً بالطن / acre (يضرب × 2.242 للحصول على طن/هكتار)

f : يدل على أن الإنجراف داله لعدد من العوامل .

I : دليل إنجـراف الأرض Soil Erodobility ويعتمد على القوام والحبيبات المركبه وتتراوح قيمه I من صفر (للأحجار) إلى أكثر من 300 (لحبيبات الرمل الناعمه جداً التى لاتكون حبيبات مركبه) .
وسوف تستخدم القيم 100-70 بالنسبه لجنوب غرب تكساس (جدول رقم 8-6) .

K : عامل خشونة السطح Surface roughness
ويتراوح من 1.0 لسطح التربه الناعم إلى 0.5 عندما يكون السطح الخشن به إختلافات رأسية فى الطبوغرافيا فى حدود 4 بوصه على الأقل .

C : عامل المناخ (سـرعة الرياح والرطـوبه الأرضـيه) . وبالنسـبة لغـرب تكساس فتسـتخدم القيم 2.0 - 1.0 (% 200-100) والقيـم الصـغرى تسـتخـدم فى أوقـات الشـتـاء أما القيـم الكبرى فتستخدم فى الربيع . (جدول رقم 8-7) .

L : تأثير مساحة الحقل (الطول) . وقيم L تتراوح من 0 (الحقول الصغيرة المحميه) إلى 1.0 (المساحات الواسعه المفتوحه) . وبدون وجود حـواجـز فعاله إستخدم قيم 0.80 إلى 1.0 تبعاً لإنفتاح الحقل أى تبعـاً لعدم وجود مصدات أو حواجز للرياح . ويعبر عنها بالأمتار .

V : الغطاء النباتى . ويحسب من جـداول تبعاً لنـوع النبات النامى أو لبـقـايا النباتات المتروكة على السـطـح . والغطاء النباتى يتم حسابه تقريباً بالطن لكل هكتار كما يلى :

الذرة الرفيعه بعد الإنبات	– 1.5 مره قدر الوزن الفعلى .
الذرة الرفيعه 30 cm طول	– 2.3 مره قدر الوزن الفعلى .
الذرة الرفيعه 50 cm طول	– 3 مرات قدر الوزن الفعلى .
قمح منزرع	– 6 مرات قدر الوزن الفعلى .

جدول (8-6) : قيم دليل الإنجراف (I) لبعض الأراضى المختلفه.

نسبة الأرض الجافه الأكبر من 0.84 mm بعد نخل الأرض الجافه	دليل الإنجراف I (t/a)
1	310
5	180
10	134
15	117
20	98
30	74
50	38
80	2

جدول (8-7) : قيم مختارة لعامل المناخ (C) لمناطق مختلفه .

المنطقه	عامل المناخ (C)			
	فبراير	أبريل	يوليو	أكتوبر
دنفر (كلورادوا)	0.70	0.70	0.40	0.30
مدينة دودج (كانساس)	0.80	1.50	0.70	0.70
الباسو (تكساس)	0.20	0.25	0.10	0.10
ياكيما (واشنطن)	0.20	0.50	0.30	0.20
فورت وورث (تكساس)	0.20	0.25	0.10	0.10

حساب الإنجراف بالرياح Wind Erosion Calculation

مثـال :

إحسب الإنجراف لحقل مـزروع بـالذرة الرفيعه فـى أكتوبـر ويقـع الحقـل فـى جنوب غرب تكساس علماً بأن بيانات الحقل كالآتى :

قوام الأرض لومى ، الحقل واسع ذو سطح ناعم ولايوجد به مصدات ريـاح . طول الذرة الرفيعه حوالى 30 cm والوزن الفعلى للذرة = 1800 lb/a .

الحـــــل

سوف يتم حل المثال على 3 خطوات ويجب العلم أن جميع القيم المستخدمة فى الخطوتين 1 ، 2 هى قيم تقريبيه حيث أن الحصول علـى قيـم حقيقيـه دقيقـه يسـتلزم استخدام عدد كبير من الجداول والأشكال البيانيه :

1) يتم وضع قيم تقريبيه لمكونات معادله الانجراف بالرياح بناءاً على ما سبق مناقشته.

$$E = f(I, K, C, L, V):$$

I = 85 (loam soils)

K = 0.95 (سطح التربه ناعم)

C = 1.2 (القيمة التقريبيه لسرعة الرياح فى الشتاء فى تكساس)

L = 1.0 (الحقل مفتوح وطويل ولايوجد مصدات رياح)

V = 3 أنظر الخطوة رقم 3

2) يتم عمل تقدير تقريبى للإنجراف (E_A) كما يلى :

$$E_A = I \times K \times C \times L$$

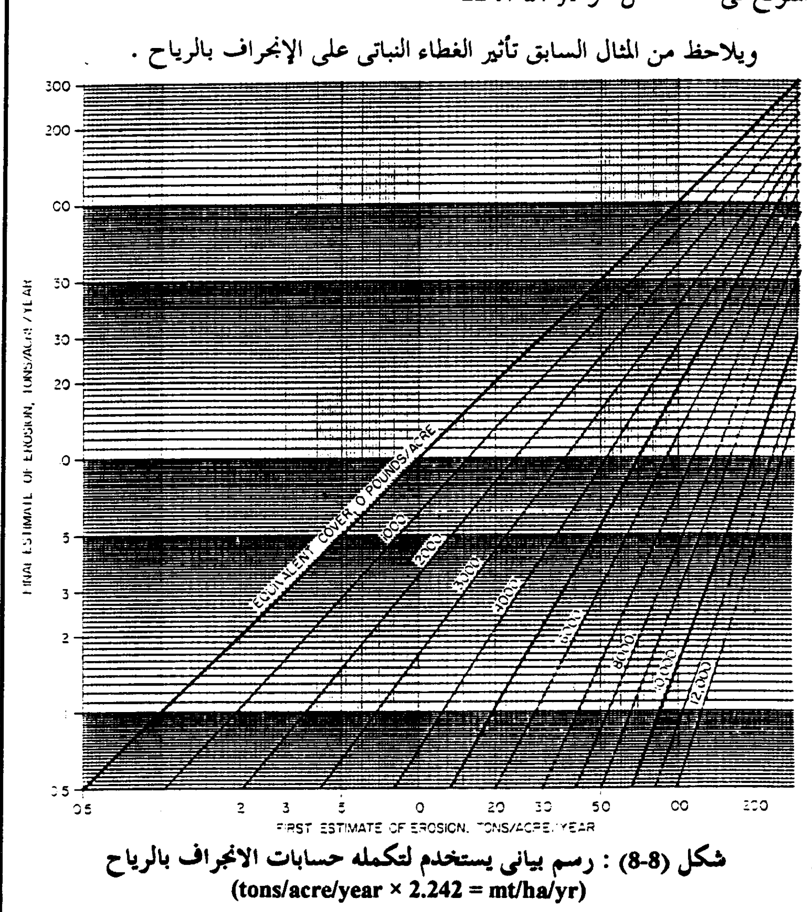
$$= (85)(0.95)(1.2)(1.0) = 96.9 \text{ t/a/yr}$$

3) يتم حساب الغطاء النباتى وذلك بضرب الوزن الفعلى

1800 lb/acre × 2.3 لأن طول الذرة الرفيعه حوالى 30 cm والقيمه = 4140 lb/acre

إستخدم الرسم البيانى بالشكل رقم (8-8) وحدد قيمه E_A المقدره بـالخطوه رقـم (2) وتسـاوى 96.9 علـى المحـور السـينى الـذى يمثـل التـقدير الأولى للأنجـراف First Estamate of Erosion ثم تحرك لأعلى إلى نقطـة التقـاطع مـع الخطـالذى يمثـل 4140 lb/a ثم إتجه ناحيـه اليسـار إلى المحـور الصـادى لتحديـد الأنجـراف الكلـى E_T والـذى يساوى فى هذه الحاله 22 t / a / yr (49.3 Mg/ha) أى أن الانجـراف الكلـى بالريـاح المتوقع فى هذا الحقل هو 22 t / a / yr .

ويلاحظ من المثال السابق تأثير الغطاء النباتى على الإنجراف بالرياح .



شكل (8-8) : رسم بيانى يستخدم لتكمله حسابات الانجراف بالرياح
(tons/acre/year × 2.242 = mt/ha/yr)

التقنيات المستخدمة لحماية الأرض من الإنجراف بالرياح

لحمايه الأرض من الإنجراف بالرياح يجب التحكم فى العوامل التى تؤثر على الإنجراف بالرياح . وعموما يوجد بعض العوامل التى لايمكن التحكم فيها مثل المناخ (C) وعوامل أخرى يصعب التحكم فيها مثل دليل انجراف الأرض الذى يعتمد على قوام التربه وبناء الأرض وإن كان إضافة المادة العضويه والحرث يمكن أن يحسن جزئياً من بناء التربه . عامل خشونة السطح (K) وطول الحقل (L) ، الغطاء النباتى (V) يمكن التحكم فيهم عن طريق إدارة التربه . أما تأثير الرياح فيمكن مقاومته عن طريق مصدات الرياح أو رى الأرض لزيادة نسبة الرطوبة بها .

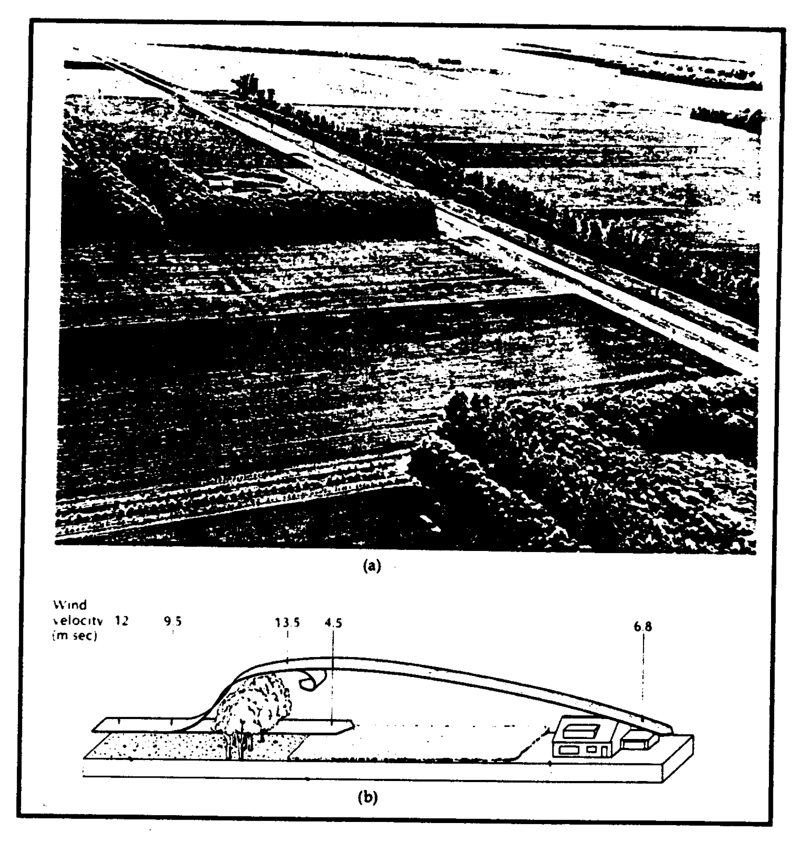
وفيما يلى بأختصار بعض التقنيات المستخدمة للحد من إنجراف الأرض بالأملاح .

مصدات الرياح والأسيجه الواقيه :

وجد من التجارب الحقليه أن الإنجراف فى الأراضى الجافه يبدأ عندما تكون سرعة الرياح تتراوح بين 24 - 19.3 كيلومتر/ساعه . ومن المعروف أنه عند وضع عائق قائم فى طريق الرياح فإن ذلك يقلل من سرعه الرياح . فإذا فرضنا مثلاً أن سرعة الرياح 32 كيلومتر/ساعه فإنه يجب خفض سرعة الرياح إلى 16 كيلو متر/ساعه حتى تمنع حدوث الإنجراف ويتم ذلك بوضع مصدات رياح أو أسيجه بإرتفاع 10 متر حتى تصبح الحمايه كامله لهذه المسافه (150 m). وكلما كانت الرياح سريعه كلما تطلب ذلك تقارب صفوف المصدات وزيادة إرتفاعها لضمان الحمايه الكاملة للأراضى علماً بأن الحمايه لمسافه ما يعادل عشرة أمثال إرتفاع المصد (شكل 8-9) .

وأهم الأشجار الخشبيه التى تستخدم كمصدات رياح هى :

١) الكازوارينا Casuarina Sp.
٢) الأثل (العبل) Tamarix articulate
٣) السرو Cupressus Spp.



شكل (8-9) :
(a) إستخدام الأشجار والشجيرات كمصدات رياح
(b) تأثير مصدات الرياح على سرعة الرياح . حيث يلاحظ إنخفاض سرعة الرياح نتيجة لوجود مصدات الرياح

وتفضل الأسيجه على مصدات الرياح فى مزارع الخضر الصغيرة وذلك لأنها تعمل كأسيجه ومصدات رياح فى آن واحد كما أن نمو الخضر يكون قريباً من سطح الأرض فلا يحتاج الأمر لأشجار عاليه للوقايه من الرياح . ومن أكثر النباتات إستخداماً كأسيجه هى التين الشوكى .

عمليات الخدمة

لما كانت الأراضى الرمليه ضعيفه البناء هى أكثر الأراضى عرضه للإنجراف بالرياح لذلك يجب تجنب عمليات الإثارة فى هذه الأراضى من حرث وتزحيف إلى أقل حد ممكن كما أن الحرث يجب أن يكون عمودياً على إتجاه الرياح وتنفيذه عندما تكون الأرض رطبه .

الغطاء النباتى

وجود غطاء من النباتات الناميه فى الأرض يحميها من نقل الرياح لذلك يجب على قدر الإمكان توفير غطاء نباتى بصفه دائمه طوال العام وإن تعذر ذلك فيمكن تخطيط الحقل فى دوره بحيث تزرع شريحه بمحصول مقاوم للأنجراف مثل الشعير والقمح والذره الرفيعه يليها شريحه أخرى تزرع بمحصول آخر غير مقاوم للإنجراف بالرياح . كما يجب مراعاة أن يكون إتجاه الشرائح عمودياً على أتجاه الرياح .

أيضاً يمكن إستخدام بقايا ومخلفات المحاصيل النباتيه لحمايه الأرض مثل ترك بقايا المحاصيل بين فترات الحصاد والزراعه التالية .

مراجع الفصل الثامن

Al-Durrah, M.M. and J.M. Bradford (1982). The Mechanism of Raindrop Splash on Soil Surfaces. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 1086 - 1090.

Barrows, H.L. and V.J. Kilmer (1963). Plant Nutrient Losses from Soils by Water Erosion. Adv. Agron. 15: 303 - 316.

Bennett, O.L.; E.L. Mathias and P.E. Lundberg (1973). Crop Responses to No. Till Management on Hilly Terrain. Agron. J. 65: 488 - 491.

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Dissmeyer, G.E. and G.R. Foster (1981). Estimating the Cover-management Factor (C) in the Univeral Soil Loss Equation for Forest Conditions. J. Soil Water Cons. 36: 235 - 240.

Miller, E.R. and R.L. Donahue (1990). Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice-Hall International, Inc. N. J.

Piper, Steven (1989). Measuring Particulate Pollution Damage from Wind Erosion in the Western United States. J. Soil Water Cons. 44: 70 - 75.

Siddoway, F.H. (1970). Barriers for Wind Erosion Control and Water Con- servation. J. Soil Water Cons. 25: 180 - 184.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. USDA Agric. Handbook No. 537.

Woodruff, N.P. and F. H. Siddoway (1965). A Wind Erosion Equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 602 - 608.

الفصل التاسع

الكائنات الحيه فى الأرض

Organisms of the Soil

- التقسيم العام لكائنات التربة
- أعداد ونشاط الكائنات الحية فى التربة
- أنواع الكائنات الحية شائعة الوجود فى التربة
  - ◊ الديدان الأرضية - النمل والنمل الأبيض - الحيوانات الدقيقة فى التربة - جذور النباتات - الطحالب - الفطريات - ميكوريزى (فطر الجذر) - البكتريا - الأكتينوميسيتات
- الظروف المثلى للنشاط الميكروبى
- فوائد الكائنات الحية فى التربة
- التأثير الضار لكائنات التربة على النبات



9

الكائنات الحيه فى الأرض

Organisms of the Soil

يضاف إلى التربه الكثير من بقايا النباتات والحيوانات كل عـام ومـع ذلـك فـإن هذه البقايا تتحلل فى وقت زمنى قصـير نتيجـه لوجـود الكائنـات الحيـه فـى التربـه . ولذلك ففى هذا الفصل سوف نتكلم عن الكائنات الحيه الموجوده فـى التربـه (سـواء تلك الكائنات التى تتبع المملكه النباتيه أو الكائنات الحيه التى تتبع المملكـه الحيوانيـه) المسئوله عن تحليل وتخليق المواد العضويه فـى التربـه . وسـوف يتـم الـتركيز فـى هـذا الفصل على نشاط هذه الكائنات الحيه فى التربه .

التقسيم العام لكائنات التربه

A General Classification of Soil Organisms

لا يوجد تقسيم كامل ومقبول للكائنات الحيه الدقيقه وبالتالى فـى هـذا الفصـل سوف نستخدم تقسيم عام وبسيط بغرض التبسيط وسهولة الفهم (شكل رقم 9-1). فمعظم الكائنات الحيه فى التربه تتبع المملكه النباتيه (flora) وهذا بالطبع لا يقلل مـن شأن ودور الكائنات التى تتبع المملكه الحيوانيه (fauna) وخاصة فى المراحـل الأوليـه لتحلل الماده العضويه .

وفى دراستنا لكائنات التربه (حيوانيه أو نباتيه) نجد أن الغالبية العظمى من هـذه الكائنات صغيرة جدا لا يمكـن رؤيتهـا بـالعين المجـرده وإنمـا يمكـن رؤيتهـا باسـتخدام الميكروسكوب ولذلك يطلق عليها والكائنات الحيـه الدقيقـه (micro-organisms) . وهذه الكائنات الدقيقة خاصة البكتريا والفطريات تلعب دورا هـامـا فى تحلل المـواد

العضويه وتثبيت النيتروجين وأكسدة وإختزال العناصر . بالإضافه إلى ذلك فإن نشاط الكائنات الحيه الكبيرة يجب عدم إغفالها لما لهـا مـن تأثـير كبـير وهـام علـى الخـواص الفيزيائيه للتربه .

أعداد ونشاط الكائنات الحيه فى التربه

Organism Numbers and Activities

تتأثر أعداد الكائنات الحيه فى التربه بعدد من العوامل أهمها المنـاخ ، الخـواص الفيزيائيه والكميائيه للتربه ، النباتات الناميه فى التربه . فأنواع الكائنات التى تتواجـد تحت المناخ الجاف الصحراوى تختلف عن أنواع الكائنـات التـى تتواجـد فـى أراضـى الغابات الناميه تحت المناخ الاستوائى . كما أن أعداد وأنواع الكائنات المتواجده فـى الأراضى القلويه تختلف عن أنواع وأعداد الكائنات الموجوده فى الأراضى الحامضيه .

ويمكن التعرف على نشاط أنواع الكائنات الحيه الموجوده فى التربـه عـن طريـق معرفة ما يلى :

(١) أعداد كل نوع من أنواع الكائنات الحيه فى التربه .
(٢) وزن كل نوع من أنواع الكائنات الحيه لكل وحدة حجم من التربه Biomass .
(٣) النشاط الحيوى metabolic activity .

ويوضح الجدول رقم (9 - 1) أعداد وأوزان أنواع الكائنات الحيه شائعة الوجود فى التربه .

التقسيم العام للكائنات الحيه فى التربه

حيوانـــات
fauna

صغيرة
Micro

- نيماتود
- بروتوزو

كبيره
Macro

مفترسات اللحوم
- Moles
- حشرات ـ نمل ـ خنافس
- عناكب

مفترسات النباتات
- فئران ـ قوارض الخشب
- حفار - نمل

نبـاتـات
Flora

بكتريـــا
- هوائيه
- لا هوائيه
- ذاتيه التغذيه
- غير ذاتيه التغذيه

أكتينوميسيتات

فطريـــات
- فطر عيش الغراب
- خمائر
- Molds

طحالـــب
- خضراء
- خضراء مصفرة
- دياتومات

جذور النباتات

شكل (9-1) :
التقسيم العام للكائنات الحيه شائعه الوجود فى التربه . بعض حيوانات التربه تتغذى على النباتات (herbivores and detritivores) والبعض الأخر يتغذى على الحيوانات الأخرى (predators) كما أن البعض من هذه الكائنات يتطفل على الحيوانات أو النباتات (parasites).

جدول (9 - 1) : أعداد وأوزان أنواع الكائنات الحيه شائعة الوجود فى الطبقه السطحيه من تربه فى المناطق الرطبه (الوزن محسوب بالهكتار لعمق 15 cm) .

الكائن الحى	الوزن الجاف		العدد فى	
	kg / ha	٪	الجرام	المتر المربع
جذور النباتات	10,000	0.5	---	---
بكتريا	2,600	0.1	$10^8 - 10^9$	$10^{13} - 10^{14}$
فطريات	2,000	0.1	$10^5 - 10^6$	$10^{10} - 10^{11}$
أكتينوميسيتات	220	0.01	$10^7 - 10^8$	$10^{12} - 10^{13}$
طحالب	10	0.0005	$10^4 - 10^5$	$10^9 - 10^{10}$
بروتوزوا	100	0.005	$10^4 - 10^5$	$10^9 - 10^{10}$
نيماتودا	20	0.001	$10 - 10^2$	$10^6 - 10^7$
ديدان أرضيه	100	0.005	---	30 - 300

Source : Boul *et al.*, (1972). Soil genesis and classification . Iowa State Univ . press. Ames, Iowa .

ويلاحظ من الجدول (9 - 1) أن كتلة أوزان الكائنات الحيه الدقيقة والديدان الأرضيه تمثل الجزء الأكبر من الوزن الكلى للكائنات الحيه فى التربه ولما كانت الكتله تعكس النشاط الحيوى لهذه الكائنات فلقد ثبت أن حوالى 80% من النشاط الحيوى لكائنات التربه ترجع أساسا إلى الكائنات الحيه الدقيقه والديدان الأرضيه ولذلك ففى الصفحات المقبله سوف نتكلم عن أنواع الكائنات الحيه شائعة الوجود فى التربه مع التركيز على الكائنات الحيه الدقيقه والديدان الأرضيه .

أنواع الكائنات الحيه شائعة الوجود فى التربه

١- الديدان الأرضيه Earthworms

والديدان الأرضيه تتبع المملكه الحيوانيه (macroanimals) وبالذات بمجموعة (Phylum Annelida) ولقد تم التعرف على حوالى ١٨٠٠ نوع من هذه الديدان الأرضيه . وهذه الديدان تعيش فى التربه ولا تتغذى على النباتات الحيه وإنما تتغذى

على البقايا النباتيه والحيوانيه الميته وبالذات على أوراق deciduous ولا تتغذى على أوراق الصنوبربات الإبريه الشمعيه (شكل 9-2) .



شكل (9-2) :
الديدان الأرضيه تعتبر من أهم الكائنات الحيه الكبيره فى أراضى المناطق الرطبه .

الديدان الأرضيه هامه جدا وخاصة فى الطبقـه السطحيه (35 cm - 15) من التربه . فالديدان الأرضيه تقوم بابتلاع المـواد العضويـه وأيضـا التربـه أى أن الديـدان الأرضيه تقوم بابتلاع مايقف فى طريقها من ماده عضويه وتربه وتمـر خلال أجسام هذه الديدان الأرضيه ثم يتـم إخراجهـا . ولقـد قـدرت وزن التربـه التـى تمر خلال أجسام الديدان الأرضيه (casts) فـى المنـاطق الاسـتوائيه بحـوالى (250 cmol / ha) سنويا وبمقارنة التربه التى تمر خلال أجسام الديـدان الأرضيـه (casts) بعـد إخراجهـا بالتربه الأصليه نفسها نجد أنها تحتوى على كميات أكبر من العناصر الغذائيه والبكتريا والماده العضويه (جدول رقم 9 - 2) .

ومن الجدول السابق يتضح أهمية الديدان الأرضيه فى تحسين بناء التربه وزيـادة خصوبتها وأيضا فى تهوية التربه . وأهم أعـداء الديدان الأرضـيه هى الآلات الزراعية الثقيله والجـفاف والتربه الرمليه الحمضـيه فالبيئه الملائمه لمعيشـة الديدان الأرضـيه هى

تلك التى تحتوى على كميات وفيره من الماده العضويه والكالسيوم . ولقد باءت محاولات زيادة أعداد الديدان الأرضيه فى التربه بالفشل وذلك لأن الاعداد الموجوده بالتربه حاليا هى نتاج التوازن البيئى تحت ظروف كل تربه .

جدول (9 - 2) : مقارنه بين خواص التربه قبل مرورها خلال أجسام الديدان الأرضيه وخواص التربه بعد إبتلاعها وإخراجها بواسطة الديدان الأرضيه (Earthworm Casts).

الخواص	التربه الأصليه	التربه بعد مرورها خلال أجسام الديدان الأرضيه (casts)
الطين والسلت (٪)	22.2	38.8
الكثافه الظاهريه (mg/m^3)	1.28	1.11
ثبات البناء*	65	849
السعه التباديله الكاتيونيه (cmol /kg)	3.5	13.8
الفوسفور الذائب (ppm)	6.1	17.8
النيتروجين الكلى (N%)	0.12	0.33

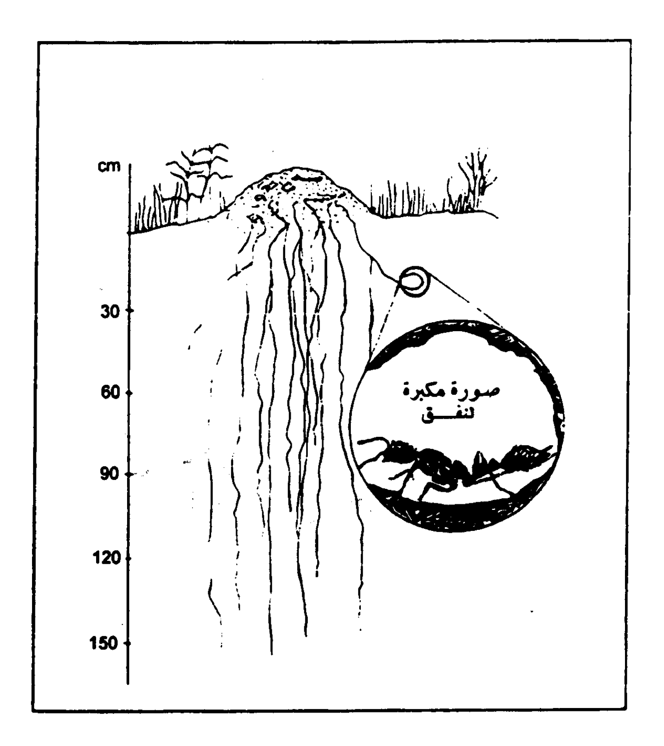
*عدد قطرات المطر اللازمه لتكسير الحبيبات المركبه .

From de Vleeschauwer and Lal (1981). Properties of worm casts under secondary tropical forest regrowth "Soil Sci. 132 : 175 - 181.

٢- النمل والنمل الأبيض Ants & Termites

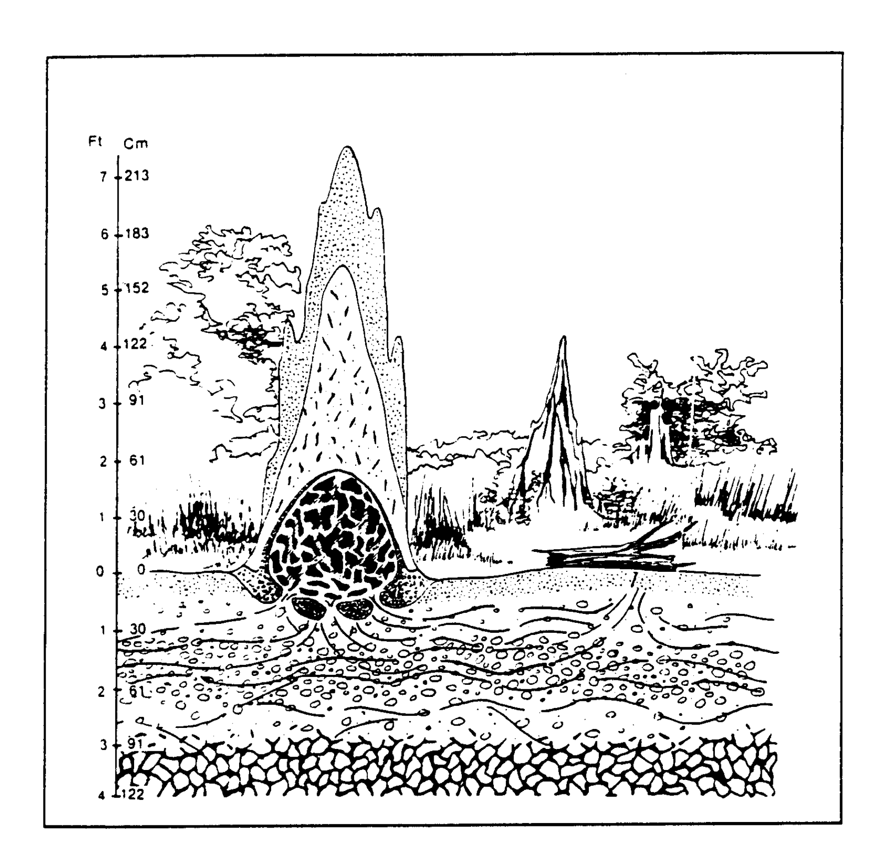
يعتبر نشاط النمل ants والنمل الأبيض Termites فى نفس درجة أهمية نشاط الديدان الأرضيه . فالنمل بوجه عام يقوم بنقل كميات كبيرة من أسفل التربة إلى سطح التربه وقد تصل أكوام التربه المنقوله إلى سطح التربه بواسطة النمل إلى حوالى 1 متر إرتفاع وقطر أكثر من 1 متر . والنتيجه النهائيه لهذا النشاط هو تكوين أفق A جديد على سطح التربه .

وفى دراسه على نشاط النمل فى ولايه ويسكونسن بالولايات المتحده الأمريكيه وجد أن النمل قادر على نقل التربه من على عمق يصل إلى ٢ متر إلى سطح التربه ويكون أعشاش (nests) للنمل يصل إرتفاعها 15 cm وقطرها 30 cm (شكل 9 - 3) .



شكل (9-3) : رسم توضيحي يبين نشاط النمل فى عمل أنفاق tunnels فى التربة وزيادة المادة العضوية فيها .

وباختصار فإن النمل والنمل الأبيض يقومان بإنشاء قنوات يتم من خلالها نقل كميات كبيرة من التربه إلى سطح التربه ولذلك فإن النمل يعتبر عامل هام من عوامل تكوين الأرض فى المناطق الأستوائيه وتحت الأستوائيه (شكل رقم 9-4) . وبوجه عام فإن تأثير النمل على الزراعة قد يكون إيجابيا عن طريق الاسراع فى تحلل البقايا العضويه وقد يكون سلبيا على الإنتاج الزراعى نتيجة حركة البناء السريعه التى يقوم بها النمل لتكوين الأعشاش الخاصه بها (mounds) .



شكل (9-4) : يعمل النمل الأبيض Termites على تركيز الكالسيوم والمواد العضوية فى الأعشاش الخاصة بها (nests) .

٣- الحيوانات الدقيقه فى التربه Soil Microanimals

يوجد نوعين من الحيوانات الدقيقه التى تعيش فى التربه وتتواجد بكميات كبيره وهما :

النيماتودا Nematodes

وهى ديدان خيطيه ميكروسكوبيه لا ترى بالعين المجرده وإسم هذه الديدان مشتق من كلمة nema وتعنى خيطى (شكل 9-5) . وتقسم النيماتودا إلى ثلاث أقسام تبعا لسلوكها الغذائى كما يلى :

Omnivorous nematodes :

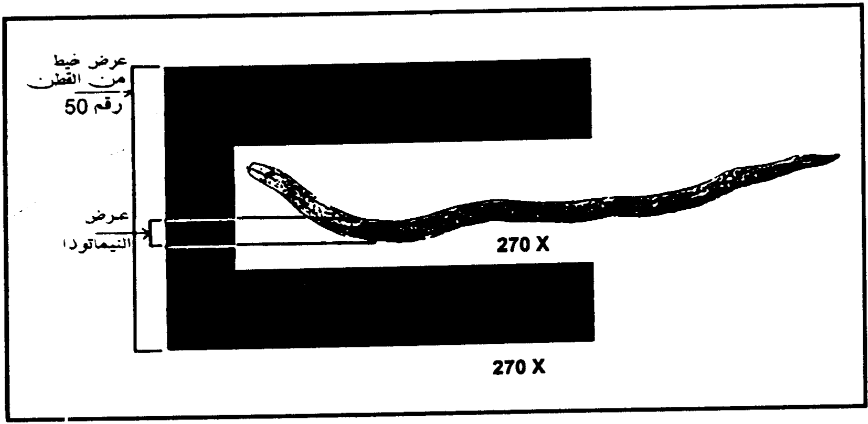
وهى التى تعيش وتتغذى على المواد العضويه المتحلله وهذا النوع هو الشائع وجوده فى الأراضى .

Predaceous nematodes :

وهى التى تعيش على البكتريا والطحالب والفطريات وأنواع النيماتودا الأخرى.

Parasitic nematodes :

وهى التى تتطفل على جذور النباتات وهى سريعة الانتشار حيث يمكنها أن تصيب حقل خضر باكمله فى فتره قصيره وأماكن دخول النيماتودا فى النبات تسهل عملية دخول الكائنات الأخرى المسببه للأمراض إلى النبات الأمر الذى يمكن أن يكون أشد ضررا على النبات من النيماتودا نفسها .



شكل (9-5) : النيماتودا شائعة الوجود فى التربه من النوع Omnivorous (مكبره حوالى 270 ضعف) ويلاحظ أن سمك النيماتودا يعادل 1/15 سمك خيط من القطن .

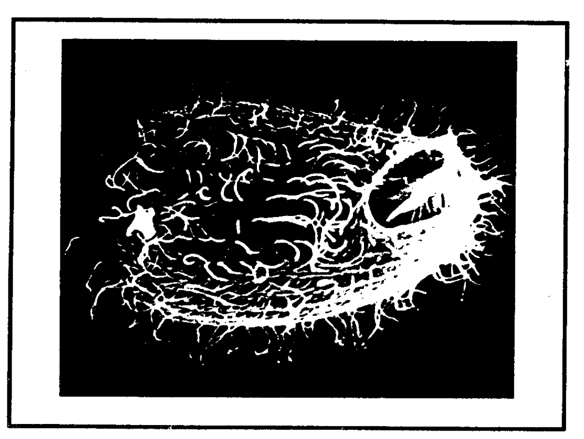
ونتيجه للأضرار التى تسببها النيماتودا الطفيليه للنبات وخاصة محاصيل الخضر فيجب مقاومتها وذلك باستخدام مبيدات النيماتودا أو باتباع دوره زراعيه مع أستخدام أنواع النباتات المقاومه للنيماتودا .

البروتوزوا Protozoa

وهى أبسط أشكال المملكه الحيوانيه وتتواجد فى التربه بأعداد كبيره (جدول 9-ا). والبروتوزوا هى كائنات وحيدة الخليه أكبر قليلا من البكتريا ويتراوح قطرها بين 5 إلى 100 um . وأنواع بروتوزوا التربه تشمل الأميبا amoeba و ciliates و flagellates (شكل 9-6) .

ولقد تم عزل حوالى 250 نوع من البروتوزوا فى الأراضى ويتراوح الوزن الحى للبروتوزوا فى الأراض من 15 kg/ha إلى 175 kg/ha وتسبب البروتوزوا كثيرا من الأمراض للحيوانات والإنسان .

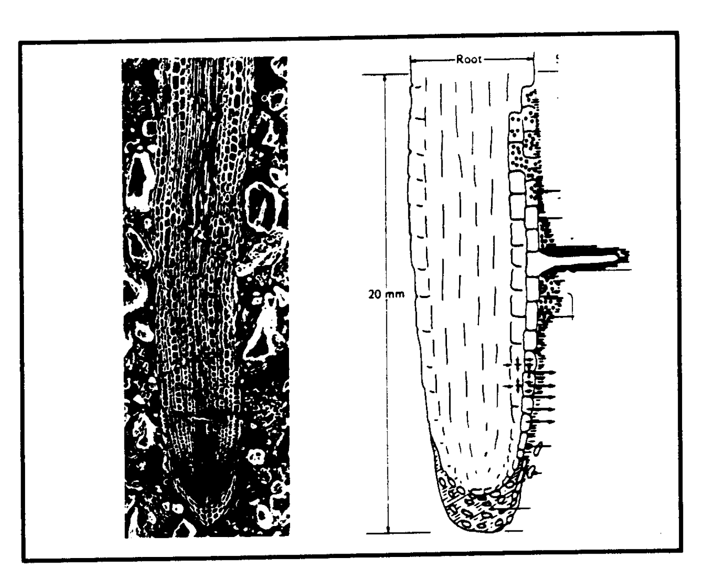
تعتبر الأراضى الرطبه جيده الصرف بيئه مناسبه لنمو البروتوزوا وهى غالبا ما تتغذى على البكتريا والكائنات الحيه الدقيقه الأخرى الموجوده فى منطقة الجذور Rhizosphere . وبوجه عام فإن البروتوزوا لا تعتبر عامل هام فى تحلل الماده العضويه وأنطلاق العناصر الغذائيه .



شكل (9-6) : شكل البروتوزوا من النوع ciliates تحت الميكرسكوب الإلكترونى.

٤- جذور النباتات Roots of Higher Plants

تعتير النباتات هى المصنع الرئيسى لإنتاج الماده العضويه ومخزن الطاقه الشمسيه. فجذور النباتات تعيش وتموت فى التربه وبذلك فهى تمد الكائنات الحيه بالتربه بالطاقه والغذاء اللازم لها . بالإضافه إلى ذلك فإن نمو الجذور يصاحبه إختراق للشقوق الموجوده فى التربه وعمل قنوات جديده وهذه القنوات يزداد إتساعها كلما زاد نمو هاذه الجذور ويؤدى ذلك إلى زيادة التحبب فى التربه (شكل رقم 9-7) . أيضا تعمل المركبات العضويه التى تنطلق من الجذور وتحلل البكتريا الموجوده فى التربه إلى ثبات الحبيبات المركبه كما أن تحلل الجذور بعد حصاد المحصول وتحلل الكائنات الحيه بعد موتها يؤدى إلى تكوين الدبال فى الطبقه السطحيه من التربه .



شكل (9-7) : صوره توضح كيفية أختراق الجذر للتربه .

وتقدر كتلة الجذور بعد حصاد المحصول بحوالى 40% - 15 من وزن النمو الخضرى الموجود فوق سطح التربه . فاذا افترضنا أن متوسط وزن الجذور 25% من

النمو الخضرى فإن زراعة محاصيل الشوفان ، الذره وقصب السكر يضيف إلى التربه 2500 ، 4500 ، 8500 كجم / هكتار من بقايا الجذور بالترتيب .

تؤثر الجذور الحيه على تغذية ميكروبات التربه فعلى الرغم من أن الجذور تمتص العناصر الغذائيه الذائبه من المحلول الأرضى مباشرة الا أنها تطلق بعض الاحماض العضويه التى لها القدرة على ذوبان العناصر وجعلها فى صوره صالحه وبالتالى تعمل على إمداد الميكروبات الموجوده فى منطقه الجذور Rhizosphere بالغذاء اللازم لها ولذلك فإن إعداد الكائنات الحيه فى منطقة الجذور تكون أعلى مائه ضعف من تلك الموجوده بعيدا عن منطقة الجذور .

وفى الواقع أن الخواص الكميائيه والطبيعية للمركبات التى تفرز فى منطقة الجذور هى السبب جزيئا فى إعتبار جذور النبات كائن حى يعيش فى التربه . والحقيقه أن التأثير الكبير للجذور على خواص الأرض يعضد هذا الإعتبار .

٥ ـ الطحالب Algae

طحالب التربه هى كائنات دقيقه ميكروسكوبيه تحتوى على كلوروفيل ولذلك فهى قادره على القيام بعملية التمثيل الضوئى مثلها فى ذلك مثل النباتات . ولذلك فإحتياج الطحالب للضوء لاستخدامه فى عملية التمثيل الضوئى يجعلها متواجده دائما على سطح التربه وتنمو الطحالب بصوره أفضل تحت الظروف الرطبه .

تنقسم الطحالب فى التربه إلى ثلاثة أنواع :

١ـ طحالب خضراء green algae
٢ـ طحالب خضراء ـ مصفره yellow - green algae
٣ـ دياتومات diatomes

ملحوظه :

الطحالب الخضراء المزرقه التى كانت تتبع الطحالب أصبحت فى التقسيم الحديث تقع تحت البكتريا وتسمى cyanobacteria كما يطلق عليها أحيانا البكتريا الخضراء المزرقه Blue green bacteria وتنتشر الطحالب الخضراء فى الأراضى غير المغموره بالماء بينما تنتشر الدياتومات فى الحدائق المعمره .

وتتراوح أعداد الطحالب فى الأراضى ما بين 1 - 10 بليون فى المتر المربع وذلك لعمق 15 cm . وأهمية الطحالب فى التربه ترجع أساسا إلى كونها منتجه للماده العضويه وليست مستهلكه لها ففى الأراضى الرطبه الخصبه يؤدى نمو الطحالب بها إلى إنتاج ماده عضويه تصل إلى مئات الكيلو جرامات فى الهكتار .

بعض الطحاب تعيش معيشه تكافليه (مثل الطحالب الخضراء أو البكتريا الخضراء المزرقه) مع الفطريات مكونه ما يسمى أشنات lichens حيث يقوم الطحلب بتثبيت النيتروجين الجوى اللازم لنمو الفطريات بينما يقوم الفطر بتوفير الماء والغذاء اللازمين للطحلب . ونمو الأشنات lichens عادة ما يكون بطيئا (1 - 30 mm/yr) ونتيجه للمركبات التى تفرزها الأشنات فهى تعتبر عاملا هاما فى تجويه الصخور .

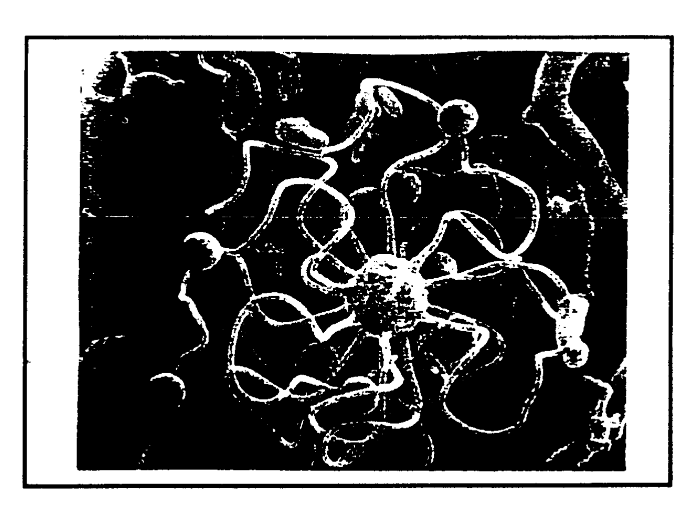
وتتلخص أهمية الطحالب فى التربه فيما يلى :

أ) زيادة الكربون العضوى فى التربه لأن الطحالب تقوم بعملية التمثيل الضوئى وتحول ثانى أكسيد الكربون الجوى إلى كربون عضوى .
ب) تلعب الأشنات lichens دورا هاما فى تجويه الصخور كما أن الطحالب تقوم بتثبيت النتروجين الجوى وتحويله إلى نتروجين عضوى مما يؤدى إلى زيادة المحتوى النتروجينى للبيئه التى تعيش فيها .

٦ - الفطريات Fungi

الفطريات هى عباره عن كائنات حيه ليس لها القدره على استخدام أشعة الشمس لإنتاج طاقه لذلك فهى تعيش على أنسجة النباتات الحيه أو الميته ولذلك فإن الفطريات تعتمد كلية فى غذائها على الماده العضويه فى التربه . وتنمو الفطريات على هيئة هيفات تتشابك مع بعضها مكونه مايعرف بالميسليوم micelium والميسليوم يقوم بامتصاص الغذاء وينمو منتجا بناء يحتوى على جراثيم (spores) (شكل 9-8) .

وترجع أهمية الفطريات فى التربه إلى مقدرتها الكبيرة على تحليل الماده العضويه بما فى ذلك السيليلوز واللجنين والأحماض والمركبات المعقده حتى فى الظروف الصعبه مثل الحموضه الزائده .



شكل (9-8) : فطر التربه ويظهر الميسيليوم الذى يحتوى على جراثيم (spores) .

كتلة الفطريات فى التربه تتراوح بين 2000 - 10,000 كجم/هكتار وتنقسم فطريات التربه إلى ثلاثة أنواع هى :

i. خمائر (فطر وحيدة الخليه) yeast
ii. Molds .
iii. فطر عيش الغراب mushroom fungi .

ونظراً لندرة الخمائر فى التربة فإن حديثنا سوف يقتصر على النوعين الأخيرين.

Molds :

هى عباره عن فطريات خيطيه ميكروسكوبيه أو شبه ميكروسكوبيه تلعب دورا أكثر أهميه فى التربه من فطر عيش الغراب mushroom fungi حيث أن أهمية الـ molds تعادل أو تزيد عن أهمية البكتريا فى التربه فى بعض الأحيان . حيث أن الفطريات molds تكون أكثر كفاءه من البكتريا فى تحويل جزء كبير من المواد العضويه المحلله إلى أنسجتها فحوالى 50% من المواد العضويه المحلله بواسطة الفطريات تتحول إلى أنسجة الفطريات نفسها بالمقارنه بـ 20% بالنسبه للبكتريا .

تنمو هذه الفطريات تحت الظروف الحمضيه أو القاعديه أو المتعادله وبعض من هذه الفطريات يفضل النمو فى درجات الحموضه المنخفضه وهذا يفسر وجود هذه الفطريات بكميات كبيره فى الأراضى الحامضيه .

ويوجد أربع أنواع شائعه الوجود فى التربه وهى Penicillum, Mucor, Fusarim and Aspergillus وتتراوح أعداد هذه الانواع فى التربه تبعا للظروف الخاصه بالتربه وتكون عادة بين 100 - 10 بليون فى المتر المربع .

فطر عيش الغراب Mushroom Fungi

وينتشر غالبا فى أراضى الغابات والمراعى حيث يوجد وفره فى الرطوبه والمواد العضويه . وبعض أنواع هذا الفطر غير ضاره وتؤكل بواسطة الانسان . وتمثل الثمرة الموجوده فوق سطح التربه جزء صغير من الفطر أما الجزء الكبير بما فى ذلك الهيفات فتتواجد أسفل السطح . وترجع أهمية هذا الفطر إلى قدرته على تحليل الأنسجه الخشبيه .

٧- ميكوريزى (فطر الجذر) Mycorrhizae (Fungus Root)

يطلق على العلاقه التكافليه (symbiotic) بين العديد من الفطريات وجذور النباتات الراقيه إسم ميكوريزى (my-koe-rye-zee) mycorrhizae وهو تعبير يعنى فطر الجذر (fungus root) . وهذه العلاقه التكافليه لها أهميه علميه كبيره لأنها تزيد بدرجه كبيرة من صلاحية العناصر الغذائيه للنبات وخاصة فى الأراضى غير الخصبه . وفى العلاقه التكافليه بين الفطر وجذر النبات يعمل جذر النبات على إمداد الفطر بالسكريات والمواد العضويه بينما يقوم الفطر بإمداد النبات بكثير من العناصر الغذائيه فى صوره صالحه وتشمل الفوسفور والزنك والنحاس والكالسيوم والمغنيسيوم والمنجنيز والحديد ويتم ذلك نتيجة نمو هيفات الفطر خارج الجذر وإختراقها مساحات أخرى من التربه وأمتصاص العناصر منها ونقلها إلى جذر النبات .

ولأن الفطر يكون بمثابة غطاء واقى للجذر فإنه يزيد من قدرة النبات على مقاومة الجفاف ودرجات الحراره العاليه والقابليه للإصابه بالفطريات الممرضه ودرجات الحموضه المنخفضه .

وتنقسم الميكوريزى تبعا لطريقة النمو والتعايش مع الجذر إلى نوعين :

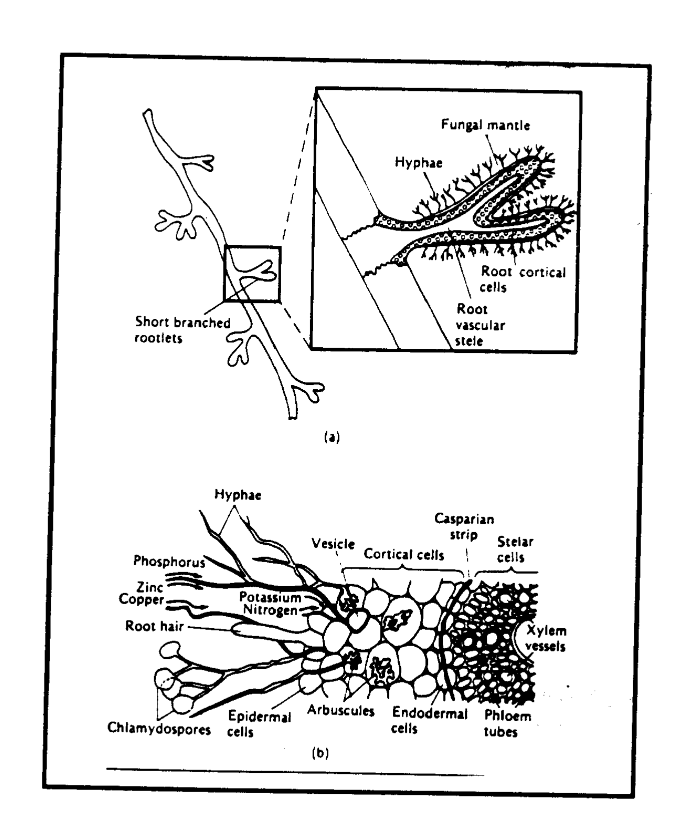
• **ميكوريزى خارجى Ectomycorrhizae**

وكلمة (Ecto) تعنى خارجى (outside) وفى هذا النوع تخترق هيفات الفطر الجذر وتنمو حول خلايا القشره cortex بدون أن تخترق جدار خلايا الجذر (شكل رقم 9-9 a) . ومجموعة ميكوريزى الخارجيه تشمل مئات الأنواع من الفطريات التى تصاحب الأشجار أساسا مثل أشجار الصنوبر والبلوط oak والخوخ وغيرها .

• **ميكوريزى داخلى Endomycorrhizae**

وكلمة Endo تعنى داخلى (inside) وفى هذا النوع Vesicular arbuscular (VA) mycorrhizae تخترق هيفات الفطر جدران خلايا الجذر وتدخل خلايا الجذر وتنمو بداخلها . وهذا النوع هو الاكثر شيوعا ويشمل ما يقرب 89 فطر تم التعرف عليهم فى الأراضى . ومجموعة ميكوريزى الداخليه تشمل العديد من الفطريات التى تصاحب جذور محاصيل الذره والقطن والقمح والبطاطس والفول والبرسيم وقصب السكر ومعظم محاصيل الخضر والفاكهه مثل التفاح والعنب والموالح . ويوضح الشكل (9-9 b) كيفية تعايش الفطر تكافليا مع الجذر حيث تخترق هيفات (VA) Vesicular arbuscular جدران خلية الجذر ويتكون داخل خلايا الجذر تركيبات صغيره ـ متفرعه تعرف بإسم arbuscules وتعتبر بمثابة مراكز انتقال العناصر الغذائيه من الفطر إلى النبات . أما التركيبات الأخرى وتسمى Vesicles فتعمل كأعضاء تخزينيه للعناصر الغذائيه والمواد الأخرى .

ويعتقد أن زيادة صلاحية العناصر الغذائيه نتيجة وجود الميكوريزى يرجع أساسا إلى كبر السطح النوعى لهيفات الفطر التى تمتص العناصر . ولقد وجد أن مساحة السطح للجذور المصاحبه للميكوريزى حوالى عشرة أضعاف مساحة سطح الجذور غير المصاحبه للميكوريزى . أيضا هيفات الميكوريزى لها القدره على الأمتداد خارج الجذر بحوالى 8 cm وبالتالى يتيح لها الفرصه لأمتصاص العناصر من مساحات بعيدة عن منطقة الجذور وخاصة العناصر غير المتحركه مثل الفوسفور والنحاس . (جدول 9-3) .



شكل (9-9) : رسم تخطيطى يوضح الميكوريزى الخارجى والداخلى :

(a) تنتج الميكوريزى الخارجى تفرعات صغيره مغطاه بهيفات الفطر التى تنمو وتمتد إلى التربه وأيضا إلى جذور النبات بدون أن تخترق الجذر الداخلى لخلية الجذر .

(b) هيفات الميكوريزى الداخلى VA mycorrhizae تخترق جدار خلايا النبات وتكون فى بعض الخلايا تركيبات تعرف بـ arbuscules and Vesicles تكون هى المسئوله عن نقل وتخزين العناصر الغذائيه للنبات .

Menge (1981). "Mycorrhizae Agriculture Technologies" pp. 383 - 424 . paper No .9. U. S. Government Printing office. WA .

جدول (9-3) : تأثير التلقيح بالميكوريزى وإضافة الفوسفور على محتوى سيقان الذره بالعناصر المختلفه بالميكروجرام/نبات .

العنصر فى النبات	بدون إضافة فوسفور في وجود الميكوريزى	بدون إضافة فوسفور فى عدم وجود الميكوريزى	إضافة فوسفور 25 mg/kg فى وجود الميكوريزى	إضافة فوسفور 25 mg/kg فى عدم وجود الميكوريزى
P	1,340	750	5,910	2,970
K	9,700	6,000	19,900	17,500
Ca	1,600	1,200	3,500	2,700
Mg	630	430	1,750	990
Zn	95	28	169	48
Cu	14	7	30	12
Mn	101	72	238	159
Fe	147	80	277	161

Lambert *et al.*, (1979). Soil Sci. Soc. Amer. J. 43 : 976 - 80 .

٨ - البكتريـــا Bacteria

هى كائنات حيه دقيقه وحيدة الخليه تزيد أعدادهـا كثيرا عـن أعـداد الكائنـات الحيه الأخرى فى التربه فيحتوى الجرام الواحد من التربه على حوالى 100 مليون خليه بكتيـريه . وأكـثر بكـتريا التربه شـيوعـا هى البكتريا العصـويه التى يصـل قـطـرهـا 1 ميكرون ويتراوح طولها بين 5 - 3 ميكرون .

وتقسم البكتريـا إلى أنـواع تبعـا لنظـام التغذيـه أو الاحتيـاج إلى الأكسـجين أو وجود علاقه تكافليه مع الأنواع الأخرى (جدول 9-4) .

جدول (9-4) : تقسيم البكتريا تبعاً للتغذية وإحتياجات الطاقة وخواص أخرى .

أساس التقسيم	النـــــــوع
١- مصدر الغذاء والطاقه	**أ - ذاتيه التغذيه الضوئيه Photoautotrophs** تحصل على الطاقه من أشعة الشمس وعلى الغذاء (الكربون) من ثانى أكسيد الكربون . **ب- غير ذاتيه التغذيـه الضوئيـه Photoheterotrophs** تحصل على الطاقه من أشعة الشمس وعلى الكربون من المادة العضويه . **جـ - ذاتيه التغذيه الكميائيه Chemoautotrophs** تحصل على الطاقه من أكسدة المواد غير العضويه مثل النيتروجين والحديد والكبريت وتحصل على الكربون من ثانى أكسيد الكربون. **د- غير ذاتيه التغذيه الكيميائيه Chemoheterotrophs** تحصل على الطاقه والغذاء (الكربون) من المواد العضويه .
٢- الإحتياجات من الأكسجين	**أ - هوائيه Aerobic** تحتاج إلى مصدر أكسجين حر وهذا النوع شائع الوجود. **ب - غير هوائيه Anaerobic** يمكنها أستخدام مستقبلات الإلكترونات مثل NO_3^- ، SO_4^{-2} ولا تحتاج إلى مصدر أكسجين حر . **جـ - Faculative - anaerobes** يمكن أن تكون هوائيه أو غير هوائيه .
٣- وجود علاقه تكافليه	**أ - تثبت النيتروجين تكافليا Symbiotic N_2 fixers** يوجد علاقه تكافليه بينها وبين النبات - تثبت النيتروجين الجوى . **ب - تثبت النيتروجين لا تكافليا Nonsymbiotic N_2 fixers** تثبت النيتروجين بدون وجود علاقه تكافليه .

البكتريا ذاتيه التغذيه Autotrophic Bacteria

تحصل البكتريا ذاتيه التغذيه على الكربون (الغـذاء) مـن ثـانى أكسـيد الكربـون ولكن طريقة حصولها على الطاقه اللازمه لها هى التى تجعلها مفيده للإنسان . فبعـض المجاميع المتخصصه من هذه البكتريا تستطيع أكسدة الأمونيوم والنيتريت والكـبريتدات والكبريت وأيونات الحديدوز والمنجنوز ، غاز الهيدروجـين وأول أكسـيد الكربـون . وعملية الأكسده هى ببساطه تغيير الصور المعدنيه غير المفيده والسامه مثل النيـتريت ، الكبريتيد وأول أكسيد الكربـون إلى صـور مفيـده مثـل النـترات ، الكبريتـات وثـانى أكسيد الكربون .

وتعتبر مجموعة البكتريا التى تقوم بأكسدة الأمونيـوم إلى نيـتريت ثـم إلى نـترات (صالح للأستخدام بواسطة النبات) من أهم مجموعات البكتريا ذاتيه التغذيه .

وتحدث عملية النترته nitrification كما يلى :

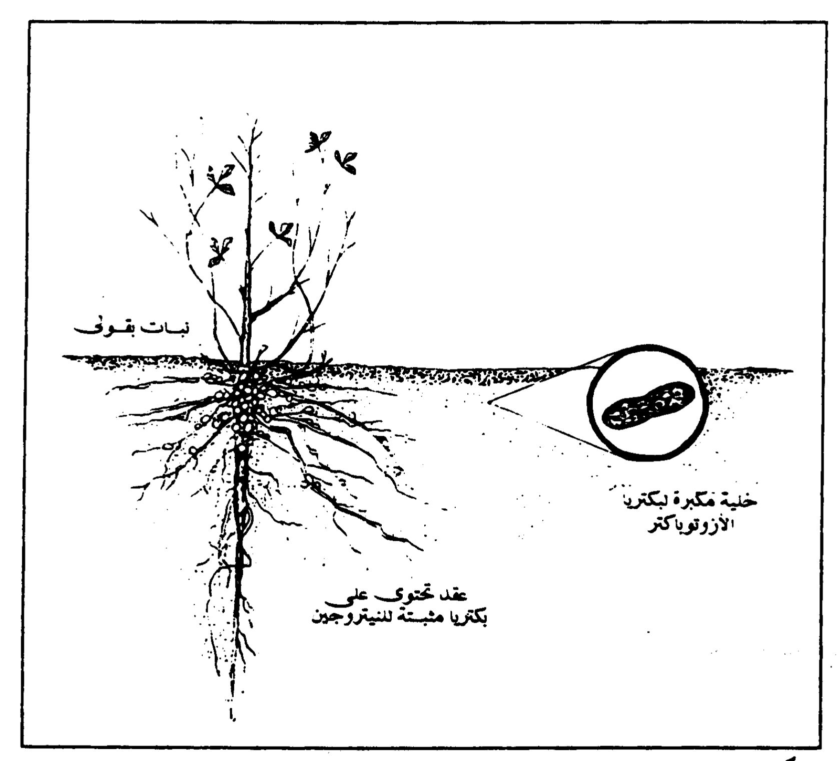
$$NH_4 \xrightarrow[\text{(Nitrosomonas)}]{\text{bacteria}} NO_2^- \xrightarrow[\text{(Nitrobacter)}]{\text{bacteria}} NO_3$$

البكتريا غير ذاتيه التغذيه Heterotrophic Baeteria

وهى البكتريا التى تعتمد على الماده العضويه كمصدر لغذائهـا وأغلـب البكتريـا الموجوده فى التربه تتبع هذا النوع - وتشمل البكتريا غير ذاتيه التغذيه كلا من البكتريا المثبته للنيتروجين ، البكتريا غير المثبته للنيتروجين . وتقسم البكتريـا المثبتـه للنيـتروجين إلى بكتريا تكافليـه (تصـاحب عـادة النباتـات البقوليـة) وبكتريـا لا تكافليـة . وتعتـبر البكتريا غير ذاتيه التغذيه والتى لا تثبت النيتروجين من أكثر أنواع البكتريا إنتشار فـى التربه والتى يتوقف عليها تحلل الماده العضويه إلى درجة كبيرة .

البكتريا التكافليه Symbiotic batcteria

البكتريا التى تقوم بتثبيت النيتروجين الجوى فى عقد على جـذور النبـات تعيـش معيشه تكافليه مع النبات ومن أمثلة ذلك الجنس Rhizobium (شكل رقم 9-10) .



شكل (9-10) :
العقد البكتيريه على جذور نبات من العائلة البقولية وتحتوى على بكتريا قادرة على تثبيت النيتروجين الجوى لكى يستخدمه النبات . والبكتريا Azotobacter تقوم أيضاً بتثبيت النيتروجين لا تكافلياً.

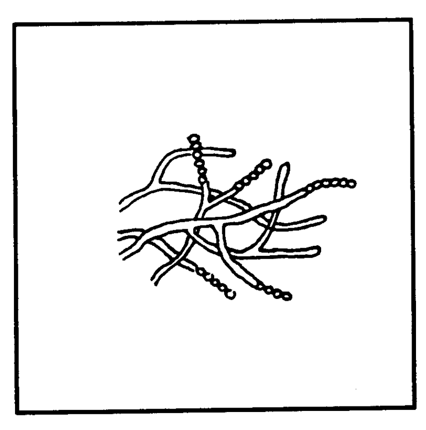
البكتريا غير ذاتيه التغذيه والمثبته للنيتروجين لا تكافليا

Nonsymbiotie N_2 - fixing heterotrophic Bacteria

وهذا النوع من البكتريا لا يحتاج إلى النبات لكى يقوم بتثبيت النيتروجين وإنما يعيش معيشة حره . ومثال لذلك البكتريا اللاهوائيه Clostidium pasteurianum التى تتواجدفى الاتربه الحامضيه سيئة الصرف والبكتريا الهوائيه Azotobacter والتى تتواجد بكثرة فى الأراضى جيدة التهويه (شكل 9-10) .

٩- الأكتينوميسيتات Actinomycetes

تتشابه الأكتينوميسيتات من الناحيه المورفولوجيه مع كلا من الفطريات والبكتريا ولكنها عادة ماتوضع من الناحيه التقسيميه مع البكتريا . والأكتينوميسيتات كائنات وحيدة الخليه تتراوح أقطارها بين 1 - 0.5 ميكرون (نفس قطر البكتريا) كما أنها تكون جراثيم مثلها فى ذلك مثل البكتريا وتتميز بتكوين خيوط رفيعه متفرعه mycelia مثل تلك الموجودة فى الفطريات (شكل 9-11) .



شكل (9-11) : الأكتينوميسيتات

وحديثاً تم إكتشاف قدره الأكتينوميسيتات على إنتاج الكثير من المضادات الحيويه المفيده . ولقد تم عزل حوالى 500 مضاد حيوى من الأكتينوميسيتات منها Streptomycin، Aureomycin ، Terramycin ، Neomycin .

من الناحية الزراعية فإن الأكتينوميسيتات لها القدرة على أن تحلل المادة العضوية وخاصة السليلوز والجزيئات العضويه صعبة التحلل . وفى آخر السبعينيات تم إكتشاف قدره الأكتينوميسيتات على تثبيت النتروجين الجوى تكافلياً مع العديد من النباتات مثل Russian olive، Flooded rice، New jersy tea ، Australian pine.
والإهتمام بالعلاقه التكافليه للأكتينوميسيتات يرجع إلى قدرتها على التعايش تكافلياً

مع سبعة عائلات مختلفة من النباتات فى حين أن بكتريا Rhizobia تكون عقد فقط مع عائلة Leguminosae .

أعداد الأكتينوميسيتات فى التربه تزيد عن أعداد جميع الكائنات الموجودة فى التربه ماعدا البكتريا وقد تبلغ أعداد الأكتينوميسيتات مئات الملايين (حوالى $^{1}/_{10}$ أعداد البكتريا) حينما تكون الظروف البيئيه ملائمه لمعيشتها . والظروف الملائمه لنمو الأكتينوميسيتات هى وجود وفرة فى المواد العضوية ودرجة حموضة التربه متعادله أو حمضيه خفيفه ووجود رطوبه مناسبة فى التربه خلال موسم الصيف .

الظروف المثلى للنشاط الميكروبى

Optimum Conditions for Microbial Activity

تتنافس ميكروبات التربه للحصول على الغذاء . وقدره الميكروبات للحصول على الغذاء تتوقف على درجة حرارة التربه - حموضه التربه - رطوبه التربه - مستوى العناصر الغذائيه فى التربه - مصدر الطاقه المناسب - درجة التنافس بين أنواع الميكروبات المختلفه .

تختلف الظروف المثلى لنمو الميكروبات تبعاً لنوعها . بوجه عام فإن ظروف التربه الملائمه لنمو الميكروبات هى :

(i) رطوبة قريبه من السعه الحقليه
(ii) درجة حموضه قريبه من التعادل
(iii) محتوى عالى من العناصر الغذائيه
(iv) درجة حرارة قريبه من 30°C

درجة الرطوبة المثلى للكائنات الحيه فى التربه

Optimum Soil Moisture for Soil Microorganisms

يقتل الجفاف الكثير من الميكروبات فعندما تكون التربه جافه فإن كثير من الكائنات الحيه الدقيقه إما تتحور إلى أجناس (سلالات) مقاومه أو تصبح فى مرحلة

كمون . ونشاط الكائنات الحيه الدقيقه يقل تحت ظروف الرطوبه المشبعه ويصبح أكبر ما يمكن عندما يكون المحتوى الرطوبى قريب من السعه الحقليه . ماعدا الميكروبات اللاهوائيه (تمثل جزء صغر من ميكروبات التربه) التى تنشط تحت ظروف الرطوبه المشبعه .

درجة حموضه التربه المثلى للكائنات الحيه الدقيقه فى التربه .

Optimum Soil pH for Soil microorganisms

تعتبر درجة الحموضه pH القريبه من 7 هى الدرجة المثلى لنمو الغالبيه العظمى من الكائنات الحيه بالتربه وذلك لأن درجة حموضه سيتوبلازم الميكروبات هى 7 . وتتحمل البكتريا والأكتينوميسيتات درجات الحموضه المنخفضه بدرجة أقل من الفطريات وإن كان جنس البكتريا Thiobacillus الذى يؤكسد الكبريت منتجاً حمض الكبريتيك يمكن أن يتحمل درجات الـ pH حتى pH 6 . أما الفطريات فكثير منها يتواجد فى الأراضى العضويه وأراضى الغابات عند درجة pH التربه حوالى 3 .

درجة الحرارة المثلى للنشاط الميكروبى

Optimum Temperatures for Microbial acctivity

الغالبيه العظمى من البكتريا والأكتينوميسيتات تكون درجة الحرارة المثلى لنشاطها يتراوح بين 25°C - 37°C وتتشابه فى ذلك مع درجات الحراره المثلى لنمو النبات (شكل 9-12) وتنقسم الميكروبات فى التربه إلى ثلاثه أقسام تبعاً لدرجة تحملها لحرارة التربه كما يلى :

(أ) ميكروبات محبه للبرودة Psychrophiles

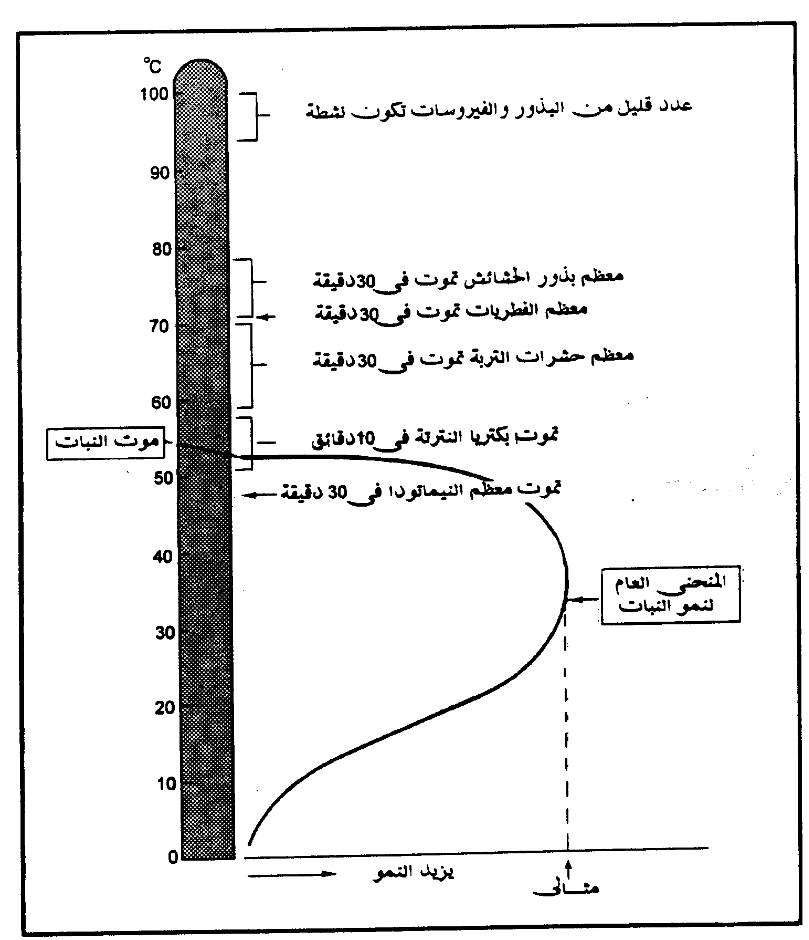
وهى الميكروبات التى تستطيع النمو عند درجة حرارة أقل من 5°C ولكن درجة الحرارة المثلى لنموها تكون قريبه من المجموعه المتوسطة Mesophiles .

(ب) ميكروبات متوسطه Mesophiles

وهذه المجموعه يكون نموها ضعيفاً عند 0°C ولاتنمو مطلقاً وتموت عند درجة حراره أعلى من 40°C ودرجة الحرارة المثلى لنموها تتراوح بين 37°C - 25°C .

(جـ) ميكروبات محبه للحرارة Thermophiles

وهذه المجموعه تتحمل درجات حرارة حتى 75°C ودرجة الحـرارة المثلى لنموهـا تتراوح بين 55-65°C .



شكل (12-9) : درجات الحرارة التى يتوقف عندها نشاط الميكروبات . منحنى نمو النبات هو منحنى تقريبى يمثل المحاصيل الشائعه وخاصة الذره (Miller *et al.*, 1990) .

فوائد الكائنات الحيه فى التربه Benefits of Soil Organisms

فوائد الكائنات الحيه فى التربه بالنسبه للنبات عديدة وتتلخص فيما يلى :

- **تحلل المادة العضويه Organic matter decomposition**

مقدرة الكائنات الحيه على تحليل المادة العضويه يؤدى إلى إنطلاق العناصر الغذائيه فى صورة صالحة للإمتصاص بواسطة النبات ومثال ذلك عنصر النيتروجين . كما أن ثبات الحبيبات المركبه يزيد نتيجة وجود الهيومس الذى هو الجزء المقاوم للتحلل وزيادة ثبات الحبيبات المركبه يحسن من الخواص الفيزيائيه للتربه وبالتالى يستفيد النبات من ذلك .

- **تحولات الصور غير العضويه للعناصر Inorganic transformations**

تحولات المركبات غير العضويه فى التربه ذو أهميه كبيرة للنبات فوجود النترات والكبريتات والفوسفات فى التربه يرجع أساساً إلى فعل ميكروبات التربه . تقوم ميكروبات التربه بتحويل الفوسفور والنتروجين والكبريت من الصورة العضويه إلى الصورة غير العضويه الصالحة للإمتصاص بواسطة النبات .

صلاحية العناصر الأخرى مثل الحديد والمنجنيز تتحدد أيضاً بفعل ميكروبات التربه . ففى الأراضى جيدة التهويه نجد أن هذه العناصر تتأكسد بواسطة البكتريا ذاتيه التغذيه إلى التكافؤ الأعلى ذو الذائبيه الضعيفه وبالتالى تصبح الكميه الذائبه الموجوده قليله وبتركيزات غير سامه للنبات .

- **تثبيت النيتروجين Nitrogen Fixation**

تثبيت النيتروجين الغازى الذى لايمكن للنبات إمتصاصه وتحوله إلى صورة صالحه للإمتصاص بواسطة النبات يعتبر من أهم الفوائد التى يحصل عليها النبات نتيجه لوجود الميكروبات فى التربه .

وبأختصار فإن الكائنات الحيه فى التربه تعمل على تحلل المادة العضويه وإنتاج الدبال وإنتاج مركبات وعناصر ذات فائدة كبيرة للنبات .

التأثير الضار لكائنات التربه على النبات

Injurious effets of soil organisms on higher plants

حيوانات التربه Soil Fauna

بعض الكائنات الحيه فى التربه التى تتبع المملكه الحيوانيه قد تكون ضاره للنبات مثل القوارض التى تتغذى على النباتات وتستطيع القضاء على المحصول والنمل الذى ينقل بعض الأمراض إلى محاصيل معينه . كما أن النيماتودا يمكنها أن تصيب جذور النباتات وتحد من نمو النبات .

الكائنات الحيه الدقيقه Microflora

تصيب البكتريا النبات بالعديد من الأمراض كما أن الفطريات تصيب أيضاً النبات بالعديد من الأمراض مثل مرض تعفن الجذور وغيرها . وتنتقل الكائنات الحيه الدقيقه الممرضه للتربه عن طريق النبات أو التسميد العضوى بمخلفات الحيوانات التى تغذت على نباتات مصابه بالأمراض وأيضاً الإنجراف يعمل على نقل الأمراض من حقل إلى آخر .

ويمكن الحد من كثير من الأمراض الموجودة فى التربه عن طريق إداره التربه وذلك بأستخدام الدورات الزراعيه - عزل البذور المصابه وعدم زراعتها - رفع أو خفض درجة pH التربه - التحكم فى الصرف والتهويه - إستخدام الهندسة الوراثية لإنتاج نباتات مقاومه للأمراض .

التنافس على العناصر الغذائيه Completition for nutrients

تستطيع ميكروبات التربه إمتصاص العناصر الغذائيه بسرعه فعند وجود نبات بطئ النمو فإن هذا النبات لن يجد إحتياجاته من العناصر الغذائيه والتنافس بين الميكروبات والنبات يكون عادة على النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم.

مراجع الفصل التاسع

Baxter, F.P. and F.D. Hole (1967). Ant (Formica Cinerea) Pedoturbation in a Prairie Soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 425 - 428.

Bethlenfalvay, G.J.; J.M. Ulrich, and M.S. Brown. (1982). Plant Response to Mycorrhizal fungi: Host, Endophyte, and Soil Effects. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1164 - 1168.

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Foth, H.D. (1990). Fundamental of Soil Sciences. John Wiley & Sons Inc. New York.

Harley, J.L. and S.E. Smith (1983). Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. New York.

Harpstead, M.I.; F.D. Hole and W.F. Bennett (1988). Soil Science Simplified. Ames. Iowa State Univ. Press.

Hole, F.D. (1981). Effects of Animals on Soil. Geoderma 25: 75 - 112.

Lee, K.E. (1985). Earthworms. Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use. Academic Press Inc. New York.

Paul, E.A. and F. E. Clark. (1989). Soil Microbiology and Biochemistry. Acedemic Press Inc. New York.

Zachmann, J.E. and D.R. Linden (1989). Earthworm, Effects on Corn Residue Breakdown and Infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1846 - 1849.

الفصل العاشر

مادة الأرض العضوية

Soil Organic Matter

- مصادر المادة العضوية وتحللها
  - ◊ السلسيلوز - الهيميسيليلوز - اللجنين - الأحماض الأمينية والنووية
- طاقة مادة التربة العضوية
- دورة الكربون
- فصل وإستخلاص مكونات مادة التربة العضوية
- مكونات مادة التربة العضوية
- التركيب البنائى لمادة التربة العضوية
- تأثير مادة التربة العضوية على خواص التربة



10

مــادة الأرض العضــوية

Soil Organic Matter

مادة التربه العضويه وهو ما يطلق عليها لفظ الدبال (Humus) هو نتاج محصلـه عمليتين حيويتين تقـوم بهمـا ميكروبـات التربـه همـا تحليـل المـواد العضويـه وتخليـق مركبات عضويه جديدة. ويوجد الدبال فى التربه فى حاله ديناميكيـه حيـث يتعـرض بصفه دائمه لمهاجمه الميكروبات وفى نفس الوقت تقـوم كائنـات التربـه بتخليقـه مـره أخرى من المخلفات النباتيه ويصاحب عمليه التحلل فقد لجزء من الكربون العضــوى نتيجة تكوين أنسجة ميكروبية جديده أى أنه يوجد تدفق دائم للكربــون مـن مصـدر لآخر لأن خلايا الكائنات الدقيقه تعتبر مصدر كربون للأجيال القادمه من المجموعات الميكروبيه فى التربه .

ويتراوح محتوى التربه من الماده العضويه من (0.5 - 5%)على أساس الوزن فى الأفق السطحى للأتربه المعدنيه الى 100% فى الأتربه العضويه (Histosols) لأن المادة العضويه فى الأتربه العضويه تتحلل ببطء شديد نتيجة ظروف الصرف السيئه ونقـص التهويه مما يؤدى الى حدوث تراكم للماده العضويه .

مصادر المادة العضوية وتحللها

تتعدد مصادر المادة العضويه التى تتعرض للتحلـل الميكروبـى فـى التربـه فيوجـد كميات ضخمه من بقايا النبات تتحلل فوق السـطح التربـه والأنسـجة النباتيـه سـواء الموجود منها فى باطن الأرض أوعلى السطح والتـى تختلـط ميكانيكيـا بالتربـه تصبـح غذاء للكائنات الدقيقه . أيضا أنسـجـة الحيوانات ومخلفاته تـتـعرض لفعل الميكروبات

بالإضافة الى خلايا الكائنات الدقيقه نفسها تعتبر مصدر للكربون . ولفهم نشأة وطبيعه مادة التربه العضوييه فإنه من الضرورى معرفة كيمياء التحلل لمكونات بقايا النبات بإعتبارها المصدر الهام والأساسى لمادة التربه العضويه .

توفر المواد النباتيه التى تصل الى التربه لأنواع الميكروبات المختلفه خليطا متنوعا من المركبات التى تتباين فى خواصها الفيزيائيه والكيميائيه . وتنقسم المركبات العضويه الموجوده فى النبات الى ستة أقسام رئيسيه :

أ. **السليلوز** : وهو أكثر المركبات الكيميائية وفرة فى النبات حيث تختلف نسبته ما بين 50% - 15 من الوزن الجاف .

ب. **الهميسليلوز** : وعادة ما يمثل 30% - 10% من الوزن الجاف .

جـ. **اللجنين** : يمثل فى العادة 30% - 5 من وزن النبات .

د. **المكونات الذائبه فى الماء** والتى تشتمل على السكريات البسيطة والأحماض الأمينيه والأليفاتيه وتمثل 30% - 5 من وزن الأنسجة النباتيه .

هـ. **المركبات الذائبه فى الكحول** وتشمل الدهون والزيوت والشموع والبروتينات وهذه يدخل فى تركيبها النتروجين والكبريت ويمثل الشكل رقم (10-1) مكونات بقايا النباتات ونسبها التقريبيه.

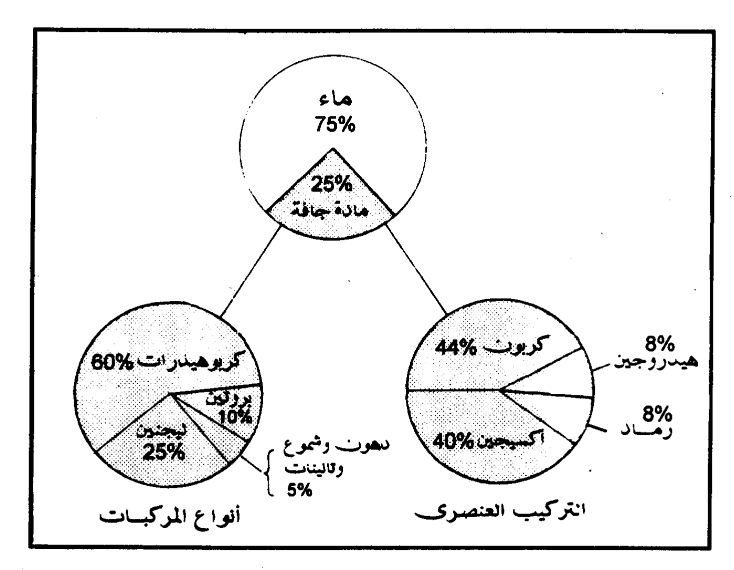
وهذه المركبات السابق ذكرها جميعها تشكل الخليط المتنوع من المواد العضويه التى تستخدمها الميكروبات فتقوم بتحليلها وتحويل الكربون الى الصورة المعدنيه لذلك سوف نتناول بشئ من التفصيل مكونات البقايا النباتيه العضويه والتى تتواجد فى التربه بعد تحللها :

أ – السليلوز Cellulose

السليلوز هو أبرز مكونات النباتات الراقيه والغالبيه العظمى من المواد النباتيه التى تضاف الى التربه هى عبارة عن مركبات سليلوزيه لذلك فإن تحلل هذا النوع من المواد الكربوهيدراتيه تصبح له أهميه خاصه فى دورة الكربون .

ومن ناحية التركب البنائى فإن السليلوز عبارة عن مادة كربوهيدراتيه تتكون

مـن وحـدات مـن الجلوكـوز المرتبطـة ببعضهـا وتشـير معظـم الدلائـل الى أن جـزئ السليلوز يتكون من 2000-10,000 وحدة جلوكوز وتختلف عدد وحدات الجلوكوز فى السلسله وكذلك الوزن الجزئ للسليلوز بإختلاف نوع النبات .



شكل (10-1) : مكونات بقايا النباتات ونسبها التقريبيه

تحلل السليلوز :

الخطوة الأولى فى تحلل السليلوز هى عمليه التحليل المائى لهذا المركـب بواسـطة الأنزيمات . هناك نظام أنزيمى يتكون فى الواقع من عدد من الأنزيمات المختلفـه يطلـق عليه سليوليز . والتفاعل الذى تقوم به جميع ميكروبات تحليل السـليلوز دون إستثناء هو أن تعمل أنزيمات السليوليز على تحويل السليلوز غير الذائب الى سكريات بسـيطة أحادية وثنائيه ذائبه فى الماء . أما الخطوة التـى تلـى تحليـل السـليلوز مائيـا فهـى التـى تختلف تبعا لنوع الميكروب . فالأنواع الهوائيه تمثل السكريات البسيطة وتنتـج CO_2 ، أما الأنواع اللاهوائيه فتنتج أحماضا عضويه وكحولات (جدول رقم 10-1).

جدول (10-1) : نواتج التحلل اللاهوائى للسليولوز

البكتريا	النواتج
وسطى الحرارة	
Clostridium cellobioparum	CO_2, H_2, ethanol, acetic, lactic and formic acids
محب للحرارة	
Clostridium thermocellum	CO_2, H_2, ethanol, acetic, lactic and succinic acids

ب- الهميسليلوز Hemicellulose

السكريات العديدة المعروفة بالهميسليلوز هى أحد المكونات النباتيه الرئيسيه التى تضاف الى التربه ولذلك فهى تمثل مصدراً هاما من مصادر الطاقه والغـذاء للكائنـات الدقيقه .

يمكن أن يكون السكر العديد على هيئة سلاسل مستقيمة كمـا هـو الحـال فـى السليلوز ، ولكن عادة ماتكون الهميسليلوزات ذات سلاسل متفرعة .

تحلل الهميسليلوز :

عند إضافة مخلفات النبات الى التربة فإن محتواها مـن الهميسـليلوز يبـدأ أولا فـى الاختفاء بمعدل سريع ثم يقل معدل التحلل بعد ذلك . هذا الاختلاف فـى معـدلات التحلل ربما يكون راجعاً الى التبـاين الكبـير فـى المكونـات الكيميائيـة للهميسـليلوز ، فبعضها يتحلل ببطء والبعض الآخر بسـرعـة ، ويمكـن أن يفسـر ذلـك أيضـاً الى حـد ما بوجـود بعـض السـكريات العديـدة داخـل خلايـا الكائنـات الدقيقـة والتـى تتكون فى التربة خلال مراحل التحلل . وهذه السـكريات العديـدة المتكونـة لايمكـن تمييزها عن الهميسليلوزات المتبقية من بقايا النبات فى التربة . وتخليق الكائنات الدقيقة لهذه المركبات قد ينعكس أثره بأن يبدو اختفاء الهميسليلوزات الكلية فى التربة بطيئاً، فى حين تكون السكريات العديدة النباتية فى الواقع قد تحللت بسـرعة . يكثر تكوين

السكريات العديدة فى خلايا الكائنات الدقيقة وإفرازاتهـا ، وعلـى ذلـك فـإن هنـاك كمية كبيرة من هذه المواد الهميسليلوزية فى التربة ، وإن لم تعرف كميتها على وجـه التحديد ، ناتجة عن النشاط التخليقى للميكروبـات ، عندمـا تتحلـل الهميسـليلوزات فإن محتواها من الكربون يتحول الى CO_2 وخلايا ميكروبية .

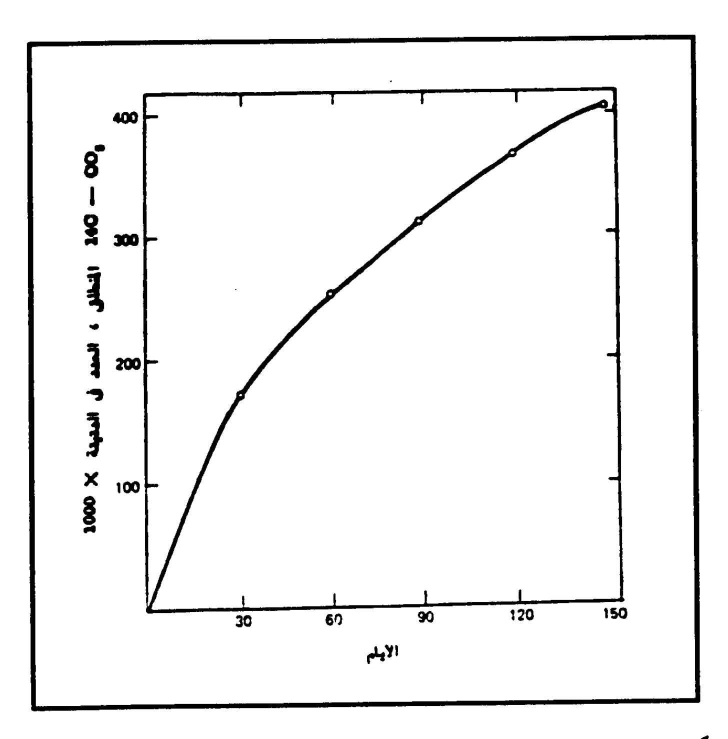
جـ - اللجنين Legnin

يعتبر اللجنين ثالث المكونات النباتية من حيث الوفرة ، فكميته داخـل الأنسـجة النباتية تلى كميات السـليلوز والهميسـليلوزات . فـى بعـض النباتـات ، وعلـى وجـه الخصوص فى الأنواع الخشـبية منهـا ، يمثـل اللجنـين محتـوى عاليـا مـن كميـة المـادة العضوية التى تتعرض للانحلال بفعـل نشـاط ميكروبـات التربـة فـى أراضـى الغابـات وحدهـا ، هنـاك كميـات ضخمـة مـن اللجنـين تدخـل الى التربـة كمخلفـات مـن الأخشاب وهذه تهدم إما بالحريق أوبالوسائل الحيوية .

تصل الى التربة سنويا كميات ضخمـة مـن اللجنـين فـى صـورة مخلفـات نباتيـة ولكنها لا تتراكم بل يلاحظ اختفاؤها ببطء ، وعلى الرغم من ذلـك فـإن المعلومـات المتوفرة عن ميكروبيولوجيا اللجنين وتحلله والعوامل البئية المتحكمة فى ذلك مـازالت قليلة . وتعزى تلك المعلومات فىهـذا المجـال الى: الصعوبـات الناشـئة عـن الـتركيب الكيميائى المعقد لجزئ اللجنين ، وصعوبة تقديرهذه المادة . يوجد اللجنين فى النبات كطبقة ثانوية فى جدار الخلية ، كما وجد الى حد ما فى الصفائح الوسطى . تحتـوى النباتات الصغيرة السن على كميات قليلة من اللجنين ، ولكنهـا تـزداد عندمـا يصـل النبات الى مرحـلة النـضج ، وغالباً لا يوجد اللجنين فى حالة حـرة بل عادة ما يكون مرتبطاً مع السكريات العديدة . وعلى وجه التحديد فإن اللجنين يوجد فـى النباتـات الخشبية بينما يقل تركيزه فـى الأنسـجة الغضـة ، فالحشـائش الصغـيرة غـير الناضجـة وكذا النباتات البقولية يمثل اللجنين نسبة 3% - 6% من وزنها الجاف ، بينما أظهرت نتائج التحليل الكيميائى لعدد من الأخشاب التى تمثل أنواعا مختلفـة مـن الأشـجار أن نسبة اللجنين بهـا تـتراوح مـا بـين 15% , 35% . وقـد وجـد أيضـاً أن اللجنينـات والجزيئات الأخرى المشابهة للجنين لاتوجد فقط فى النباتات الراقية ، بـل أيضـاً فـى بعض الفطريات والطحالب .

التحـلـل :

من المميزات الميكروبيولوجية الهامة للجنـين هـو مقاومتـه للتحلـل بالأنزيمـات ، فيتحلل اللجنين سواء فى وجود أو غياب O_2 ولكن معـدل الفقـد فـى هـذا المركـب تحـت هذيـن الظرفـين يقـل كثـيراً عـن مثيلـه بالنسـبة للسـليلوز والهميسـليلوزات والسكريات العديدة الأخرى. وفى التجـارب التـى تجـرى علـى مـدى فـترات زمنيـة قصيرة يمكن ملاحظة قلة الفقد فى اللجنين وبطء التحلل حتى تختفى المادة خلال عدة شهور (شكل رقم 10-2) . وعلى الرغـم مـن مقاومـة هـذه المـادة للتحلـل فإنـه مـن الواضح أنه يتم تمثيلها حيوياً وإلا لتراكمت بكميات كبيرة فى التربة.



شكل (10-2) :

تحلل ^{14}C- لجنين فى التربه بعد 150 يوما . 21.7% من كربون اللجنين تحول إلى CO_2

د - الأحماض الأمينيه والبروتين Amino Acids and Protein

الأحماض الأمينيه هى الوحدات الرئيسيه فى بناء البروتين . ويتواجـد النـتروجين فى الأحماض الأمينيه كمجموعه (NH_2) Amino مرتبطه بسلسله الكربون . ويتركب الجزء الحمضى من ذره كربون مرتبطه بذرة أكسجين ومجموعه OH وعادة ما تكتب بالشكل COOH- وهـو مـا يطلـق عليـه مجموعـه الكربوكسـيل وهـذه المجموعـه لها خصائص الأحماض لأن H فى مجموعه الهيدروكسيل OH له القدره على التفاعل مـع القواعد والرمز الكيميائى للأحماض الأمينيه يكتب على الشكل التالى :

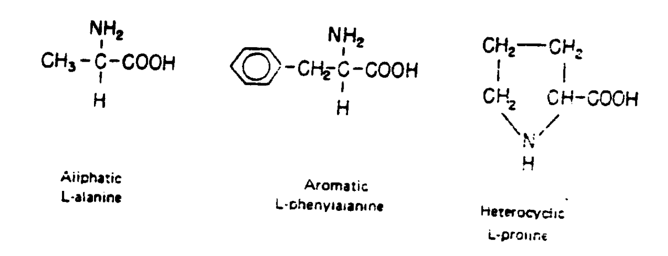
$$C-\overset{\displaystyle NH_2}{\underset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-COOH$$

ولأن مجموعـه الأمينـو amino توجـد علـى ذرة الكربــون الملاصقـه لمجموعـه الكربون (α carbon) فـإن الأحمــاض الأمـينيه فى صـورتها العـامه يطــلق عـلـيها α - amino acids وتنقسم الأحماض الأمينيه الناتجه من التحلل المائى للبروتين الى :

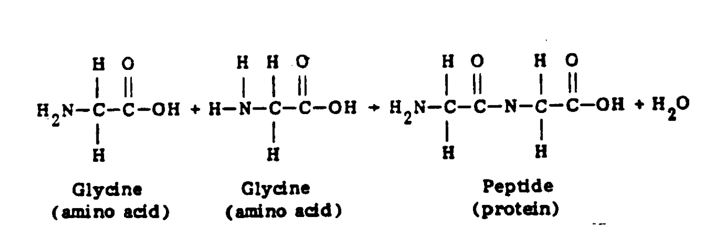
١. أحماض أمينيه (اليفاتيه) aliphatic

٢. أحماض أمينيه (عطريه) aromatic

٣. أحماض أمينيه heterocyclic



والبروتينات هى عبارة عن معقدات من الأحماض الأمينيه وعادة ما يحتوى البروتين على واحد وعشرون حمض أمينى مرتبطه ببعضها خلال مجاميع الأمينو والكربوكسيل :

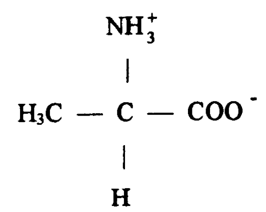


وحيث أن محتوى البروتينات من النتروجين حوالى 16% فيمكن تقدير البروتين وذلك عن طريق تقدير محتواه من النتروجين وضرب الناتج فى (100/16) .

Zwitterion

غالبيه الأحماض الأمينيه تذوب فى الماء ولا تذوب فى المذيبات العضويه غير القطبيه مثل الإيثر والكلورفورم والأسيتون . ولما كانت الأحماض الأمينيه تحتوى على مجموعه amino ، مجموعة كربوكسيل فإنها لها القدره على التفاعل مع الأحماض والقلويات .

ويطلق على المركبات التى من هذا النوع مركبات أمفوتيريه amphoteric . فمثلاً عند إذابه alanine فى الماء (pH = 7) ووضع إلكترودات فى المحلول بحيث ينشأ حقل كهربائى فإن الحامضى الأمينى لن يتأثر بالحقل الكهربائى ولكن عند إضافة قاعدة الى المحلول فإن alanine يصبح محملا بشحنه سالبه وينجذب الى القطب الموجب أما عند إضافة حمض الى المحلول فإن alanine يصبح محملا بشحنه موجبه وينجذب الى القطب السالب . ونتيجه لهذا السلوك يطلق على alanine اسم Zwitterion .



عند pH = 7 فإن مجموعه الأمينو تكون عليها شحنه موجبه . وبإضافة القـاعدة فإنـه يتـم معادلـه الشـحنه الموجبـه (pK_a = 9.7) وبإضافـة الحمـض فـإن مجموعـه الكربوكسيل تقبل بروتون .

هـ - الليبيدات Lipids

الليبيدات هى عبارة عن مركبات غير متجانسه من الأحماض الدهنيه والشـموع والزيوت ولفظ ليبد Lipid لايعنـى تركيـب بنـائى كيميـائى معـين ولكنـه يسـتخدم لوصف المواد التى تذوب فى مذيبات الدهون مثل الكلوروفورم والاثير والبنزين .
ويمكن تقسيم الليبيدات الى :

١. ليبيدات متعادله (جليسرول)
٢. فوسفاتيدات phosphatides
٣. جليسوليبيدات glycolipids
٤. tenpenoid lipds

والليبيدات عموما ذات ذائبيه محدوده فى الماء وتسلك سلوك المركبات الكارهه للمـاء hydrophobic والليبيـدات التـى تحتـوى علـى فوسـفور يطلـق عليهـا phospholipds . ومعظم الليبيدات فى النبات والحيـوان تكـون مصاحبـه للبروتينـات والكربوهيدرات .

و - الأحماض النوويه Nucleic acids

تحتوى جميع الخلايا النباتيه والحيوانيه على أنويه بها أحماض نوويـه . والأحمـاض النوويه هى عبارة عن بلمـرات لوحـدات متكـرره مـن mononucleotide ذات وزن جزيئى كبير .

وهذه الأحماض هى التى تتحكم فى تخليـق الأنزيمـات والبروتينـات وهـى ايضـاً المسئوله عن نقل الصفات الوراثيه عنـد إنقسـام الخلايـا . وقـد أمكـن التعـرف علـى نوعين من الأحماض النوويه :

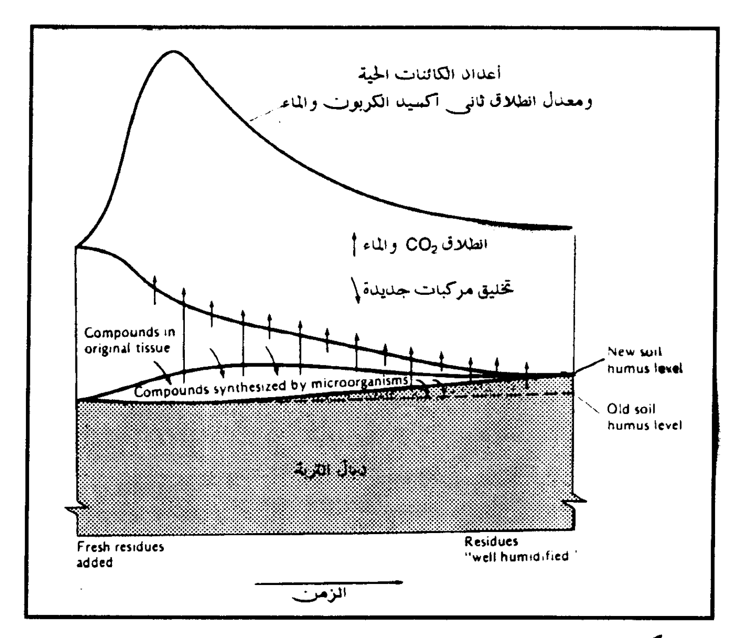
Deoxyribonucleic acid (DNA)
Ribonucleic acid (RNA)

وكلا الحمضين يتكونان من سلاسـل طويلـه مـن السـكريات (D-ribose فـى حـالة RNA ، 2-deoxyribose فـى حالـة DNA) وبقايـا فوسـفاتيه . وفـى أغلـب الخلايا فإن الأحماض النوويه مع البروتينات تكـون nucleoproteins التـى قـد تحتـوى على DNA وتكون مسئوله عن الصفات الوراثيه أو تحتوى على RNA ويطلق عليهـا ribosomes وهى هامه جداً فى تخليق البروتينات.

مثال على تحلل المادة العضوية Example of Oganic Decay

يوضح الشكل رقم (10-3) تحلل المادة العضوية فى التربه مع الزمن . وبإفـتراض عدم وجود مواد عضويه قابله للتحلل فى التربه وأن عـدد ونشـاط ميكروبـات التربـه ضعيـف . فعنـد إضافـة مـادة عضويـه مثـل بقايـا النبـات إلى التربـه فسـوف تعمـل ميكروبـات التربـه علـى مهاجمـه وتكسـر المـادة العضويـه سـهلة التحلـل أولاً مثـل السكريات والنشا والسليلوز وينطلق ثانى أكسيد الكربون والماء . فـى نفـس الوقـت تزيد أعداد الكائنات الحيه الدقيقه فى التربـه زيـادة كبـيرة ومفاجئـة ويصبـح النشـاط الميكروبى فى التربة عند أقصى قيمه له ويتكون ثانى أكسيد الكربون بكميات كبـيرة كما يتم تخليق مركبات عضويه جديده بواسطة ميكروبات التربه .

عند إنتهاء تحلل المواد العضويه سهلة التحلل تبـدأ أعـداد ميكروبـات التربـه فـى التناقص وتموت بعض منها ثم تقوم الميكروبات الحيه بمهاجمة أجسام الميكروبات الميتـه وتحللها وينتج عن ذلك أستمرار تكون ثانى أكسيد الكربون والماء . وبتناقص مصادر الغذاء والطاقه يقل نشاط ميكروبات التربه حتـى يصـل إلى نقطـه البدايـه ويصـاحب عمليـه التحلـل السـابق ذكرهـا إنطـلاق بعـض المركبـات البسـيطه مثـل الكبريتـات والنترات. ونوائج تحلل المادة العضويه هى عبارة عن خليط من المواد العضويه الغرويـه المقاومه للتحلل ومركبات جديدة تم تخليقها وهـذا الخليـط يطلـق عليـه إسـم الدبـال humus .



شكل (3-10) :
رسم تخطيطى يوضح التغيرات العامه التى تحدث عند إضافة بقايا النباتات إلى التربه .

عملية تحلل المادة العضويه كما فى الوصف السابق ماهى إلا عبـاره عـن عمليـه هضم إنزيمى مثله فى ذلك مثل هضم الغذاء داخل جسم الإنسان (جدول رقم 10-2) ونواتج النشاط الإنزيمى فى التربه يشمل :

(أ) الطاقه المستخدمه بواسطة الميكروبات أو المنطلقه على صورة حراره .
(ب) ثانى أكسيد الكربون والمركبات البسيطه الأخرى .
(ج) الدبال humus .

طاقه مادة التربه العضويه Energy of soil organic matter

من الملحوظ أن كميات الطاقه المستخدمه بواسطة الكائنـات الحيـه الدقيقـه فـى التربه لهضم وتحلل بقايا النباتات تكون عاليه جداً . فمثلاً ينتج عن إضافه 20 طن من السمـاد العضـوى حـوالى 25 مليون كيلو كالـورى (kcal) من الطـاقه الكامنه وهـو

ما يعادل الطاقه الموجودة فى حوالى 3 مليون طن فحم . وتقدر كمية الطاقه الموجودة فى هكتار من التربه يحتوى على 4% مادة عضويه بحوالى 400 مليون كيلو كالورى وهو ما يعادل كميه الحرارة الموجودة فى 50 طن فحم أى 225 برميل من البترول . وإذا تم تغيير هذه الطاقه إلى حراره فإنها تكون كافيه لرفع درجة حرارة هذا الهكتار حوالى 600°C .

فى عملية تحلل المواد العضويه تقوم ميكروبات التربه بأستهلاك جزء صغير من الطاقه بينما يفقد الجزء الأكبر من الطاقه فىصورة حراره . والدليل العملى على ذلك هو إرتفاع درجة حرارة كومة السماد .

جدول (2-10) : الإنزيمات شائعه الوجود وتفاعلاتها .

الإنزيم	التفاعل
سليوليز Cellulase	يعمل على تحلل السليلوز إلى سكريات وهو هام جداً فى تحلل المادة العضويه.
يورياز Urease	يحلل اليوريا (H_4N_2CO) فى الماء إلى ثانى أكسيد الكربون وأمونيوم ويلزم وجود أيون Ni لحدوث التفاعل.
فوسفاتيز Phosphatase	فى وجود الماء تتكسر الرابطة " $humus-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{P}-(OH)_2$ " وينتج humus - OH ، حمض الفوسفوريك (H_3PO_4) وبذلك يصبح الفوسفور صالح للأمتصاص بواسطة النبات
سلفاتيز Sulfatase	فى وجود الماء تتكسر الرابطة " $humus-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{\underset{\underset{O}{\parallel}}{S}}-OH$ " وينتج humus - OH ، حمض الكبريتيك (H_2SO_4)

دورة الكربون The Carbon Cycle

يعتبر الكربون هو المكون الرئيسى للمواد العضويه ولذلك فإن تحلل المواد العضويه ينتج ثانى أكسيد الكربون . ويطلق على التحولات التى تحدث للكربون أسم دورة الكربون Carbon Cycle أو دورة الحياة Cycle of life وذلك لأن التحولات التى تحدث للكربون ضروريه لأستمرار الحياه على الكره الأرضيه ويوضح الشكل (4-10) التغيرات التى تحدث لعنصر الكربون وفى هذه الدورة يتم ما يلى :

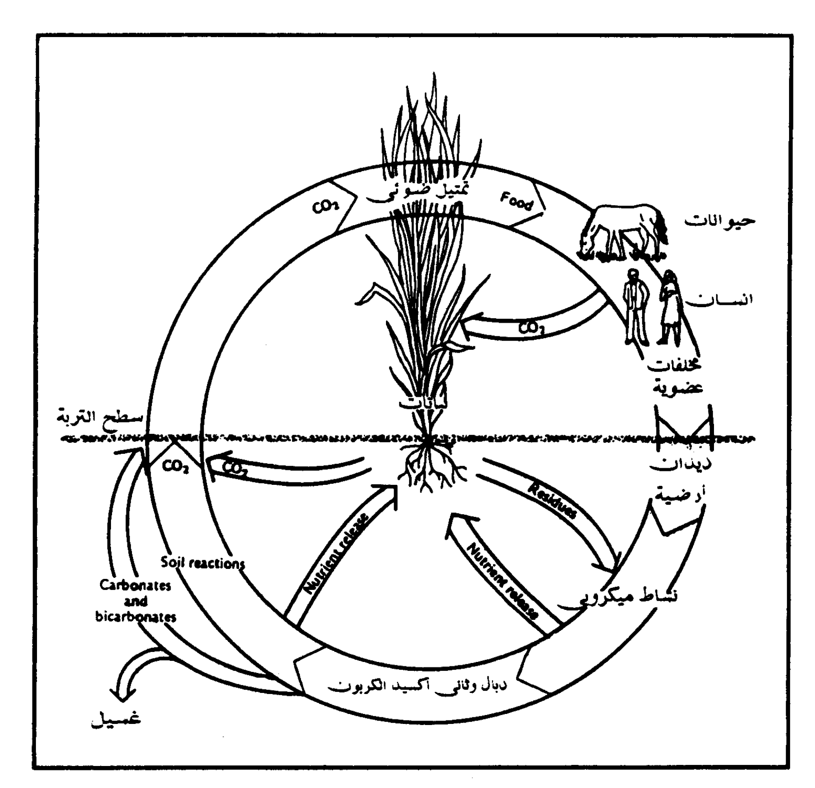
١) فى عملية التمثيل الضوئى تستخدم النباتات ثانى أكسيد الكربون الجوى وتحوله إلى مركبات عضويه بأستخدام طاقه الشمس .
٢) يحصل الإنسان والحيوان على الطاقه والغذاء من النبات ومخلفات الإنسان والحيوان تعود إلى التربه .
٣) تقوم الكائنات الحيه بالتربه بتحليل المواد العضويه وتنطلق العناصر الغذائيه الضرورية لنمو النبات ويتبقى فى النهايه ثانى أكسيد الكربون والهيومس كنواتج ثابته .
٤) يتم التخلص من كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم المتكون فى التربه عن طرق الغسيل وإن كان عنصر الكربون يعود ثانيه إلى الدورة فى صورة ثانى أكسيد الكربون .
٥) ينطلق ثانى أكسيد الكربون إلى الجو حيث يتم إستخدامه ثانيه بواسطة النبات .

نواتج تحلل المادة العضويه

Production of Organic Matter Decomposition

فى الأرض جيدة التهويه تكون نواتج تحلل المادة العضويه هى :

$H_2O, SO_4^{2-}, H_2PO_4^-, NO_3^-, NH_4^+, CO_2$ وبقايا مقاومه للتحلل والعديد من العناصر الغذائيه الضروريه للنبات بكميات صغيره بالإضافه إلى الدبال (humus) أما فى الأراضى تحت ظروف الصرف السيئه (رديئه التهوية) فإن النواتج النهائيه لتحلل المادة العضويه هى : الميثان (CH_4) , أحماض عضويه (R-COOH) , NH_4^+ وكبريتيد الهيدروجين (H_2S) , ايثيلين ($H_2C = CH_2$) بالإضافه إلى الدبال (humus).



شكل (10-4) : دورة الكربون .

فصل وإستخلاص مكونات مادة التربة العضوية

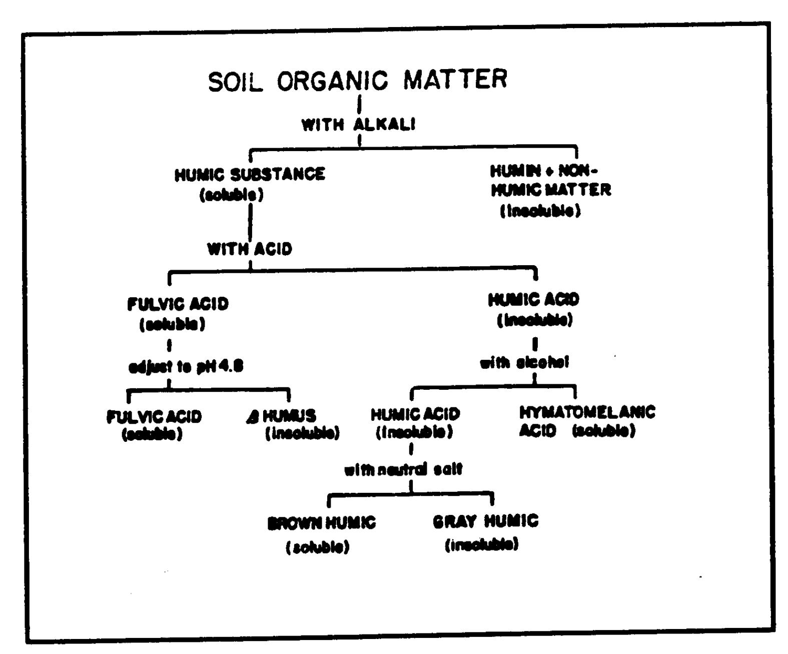
Fractionation of Soil Organic Matter

يوجد العديد من الطرق لأستخلاص المواد الدباليه من التربه وإختيار المستخلص المناسب يتوقف على الشروط التالية :

١) مادة الإستخلاص لا يكون لها تأثير على التركيب الكيميائى والصفات الطبيعيه للمادة المستخلصه .

٢) قدرة مادة الإستخلاص على إزالة واستخلاص المواد الدبالية من التربة .

وتم تقييم العديد من المذيبات العضوية وغير العضوية من حيث قدرتها على استخلاص المواد الدباليه وبوجه عام وجد أن جميع المذيبات التى تم دراستها تؤثر بصورة أو أخرى على الصفات الكيميائية والفيزيائية للمواد المستخلصة ويوضح الشكل رقم (5-10) الطريقة الأكثر شيوعاً وأستخداما لفصل المواد الدباليه من التربه. وفى هذه الطريقة يتم ترسيب المواد الدباليه وذلك عند درجة حموضه معينة واستخدام محاليل الأملاح والمذيبات العضوية .



شكل (5-10) : خطوات فصل وإستخلاص المواد الدباليه

والأستخلاص بالمحاليل القلوية مثل محاليل Na_2CO_3 , NaOH 0.1-0.5m يعتمد أساساً على الذائبية فحمض الهيوميك يذوب فى القلوى ولا يذوب فى الحمض . أما حمض هيماتوميلانيك Hymatomelanic acid فهو عبارة عن الجزء الذائب من حمض

الهيوميك فى الكحول . والهيومين Humin لايذوب فى أى مـن المحاليل الحمضيـة أو القاعدية . ومن عيوب هذه الطريقة أن المستخلصات القلوية تعمل على إذابة السليكا ومحتويات بروتوبلازم الخلايا مما يؤدى الى تلوث المكونات الدباليه المستخلصه.

مكونات مادة التربة العضوية

Composition of Soil Organic Matter

المكونات الرئيسية لمادة التربة العضويـة هـى الكربـون (52-58%) والأكسـجين (34-39%) والهيدروجـين (3.3-4.8%) والنيـتروجين (3.7-4.1%) . ويتضـح مـن جدول رقم (10-3) تشابه تركيـب أحمـاض الهيوميـك المستخلصه مـن أتربـه مختلفـة وأظهرت الأبحـاث أن نسبة الكربـون الى النيـتروجين C/N تكـون فـى حـدود 10 . والمجاميع الرئيسية فى المادة العضوية هى عبارة عن مركبات تشبه اللجنـين والبرتينـات مع وجود مركبات أخرى بكميات قليلة مثل السليلوز والهميسليلوز وأغلب مكونات المادة العضوية لاتذوب فى الماء وإنما تذوب فى القواعد القويه .

تتكون مادة التربه العضوية من مواد دباليه وغير دباليه . وتتكون المـواد الدباليـه من الكربوهيدرات وبروتينات وببتيـدات وأحمـاض أمينيـه ودهـون وشمـوع وأحمـاض ذات وزن جزئ صغير . ويمكن للأحيـاء الدقيقـة فـى التربـة مهاجمـه هـذه المركبـات وتحليلها لذلك فانها تتواجد فى التربه لمدة قصيرة فقط .

تعرف المواد الدباليه Humic substances بأنها موادعضوية طبيعيـة النشـأة غـير متجانسة يختلف لونها من اللـون الأصفـر الى اللـون الأسـود . ويمكـن تقسـيم المـواد الدبالية الى حمض الهيوميك(Humic acid (HA وحمض الفولفيك (Fulvic acid (FA والهيومين Humin . وعادة ما تعرف مكونات المواد الدباليه تبعا لذائبية كل منها فـى الأحماض أوالقواعد كما تم ذكره سابقاً فى فصل المواد الدباليه .

تختلف كميه المواد الدباليه فى التربه تبعاً لنوع النباتـات الناميـه فيهـا ففـى أتربـه الحشائش grassland soils حوالى 75% - 33 من مادة التربه العضويه هى عباره عـن مواد دباليه مع سيادة حمض الهيوميك أما فى أتربه الغابات يسود حمض الفولفيك .

جدول (3-10) : التركيب العنصرى لحمض الهيومك لبعض الأتربه مختلفه النشأه .

Soil	Percentage				Ratio		
	C	H	N	O	C/N	C/H	C/O
A[b]	52.39	4.82	3.74	39.05	14.0	10.9	8.1
B	57.47	3.38	3.78	35.37	15.2	17.0	10.4
C	58.37	3.26	3.70	34.67	15.7	17.9	10.6
D	58.56	3.40	4.09	33.95	14.3	17.2	10.0

[b] Soils A,B,C and D represent soils of varying genesis, taxonomy, and physicochemical properties.

تتواجد المواد الدباليه فى مسارات عديده فى البيئه . فنجد حمض الهيوميك فى المياه الغدقه ومياه الصرف الصحى والترسيبات البحريه والنهريه والفحم البنى ويعتبر الماء هو العامل الأساسى الذى يؤثر على إنتقال المواد الدباليه فى البيئه وتتراوح مدة بقاء المواد الدباليه فى البيئه من أسابيع أو شهور فى المياه السطحيه ومياه البحيرات الى مئات السنين كما فى الأتربه والمياه العميقه deep aquifers .

يتراوح نصف قطر المواد الدباليه من 1 إلى 0.001 um ومتوسط الوزن الجزيئى لحمض الفولفيك يتراوح بين 500-5000 بينما الوزن الجزيئى لحمض الهيوميك يتراوح بين 3000-1,000,000 وتتوقف قياسات الوزن الجزيئى على درجه الحموضه pH والتركيز والقوة الأيونيه.

يوضح الجدول رقم (4-10) التركيب العنصرى لكلا من أحماض الفولفيك والهيوميك وبناءاً على النتائج المعروضه فى هذا الجدول يمكن إشتقاق الرمز الكيميائى Formula التالى لحمض الهيوميك مع اهمال الكبريت $C_{10}H_{12}O_5N$ والتركيب التالى لحمض الفولفيك $C_{12}H_{12}O_9N$. ويعتبر الكربون والأكسجين هما العنصران الأساسيان فى تركيب حمض الفولفيك والهيوميك حيث يمثل محتوى الكربون فيها حوالى 59% - 41 ومحتوى الأكسجين حوالى 50% - 33 . ويحتوى حمض الفولفيك

على كمية كربون أقل (% 51-41) وكمية أكسجين أعلى (%50-40) من حمض الهيوميك . وتتراوح نسب الهيدروجين والنتروجين والكبريت فى حمض الهيوميك والفولفيك من 3 الى %7 بالنسبه للهيدروجين ، من 1 الى %4 بالنسبة للنيتروجين ومن 0.1 الى %4 بالنسبة للكبريت .

جدول (10-4) : متوسط نسب العناصر فى أحماض الهيوميك والفولفيك .

	Humic acids (%)	Fulvic acids (%)
Carbon	53.8-58.7	40.7-50.6
Hydrogen	3.2-6.2	3.8-7.0
Oxygen	32.8-38.3	39.7-49.8
Nitrogen	0.8-4.3	0.9-3.3
Sulfur	0.1-1.5	0.1-3.6

From Steelink, C. In " Humic Substances in Soil, Sediments, and Water" (G. R. Aiken, D. M. McKnight, an R.L.Wershaw, eds.), pp. 457-476.

ويمكن إستخدام النسب الذريه لكل من H/C ، O/C ، N/C للتعرف على أنواع المواد الدباليه ويتضح من الجدول رقم (10-5) أن النسبه O/C يمكن إعتبارها مقياسا للتعرف على أنواع المواد الدباليه وتساوى حوالى 0.50 لحمض الهيوميك فى التربه ، تساوى حوالى 0.70 لحمض الفولفيك فى التربه .

التركيب البنائى لمادة التربه العضويه

Structure of Soil Organic Matter

بالرغم من معرفه التركيب العنصرى والمجاميع الفعاله فى المواد الدباليه إلا أن التركيب الفعلى لهذه المواد مازال مجهولا . ولقد أقترح العديد من التراكيب للمواد الدباليه التى تحمل نفس المجاميع الفعاله وتتميز بوجود المركبات الأليفاتيه والعطريه . نتيجه عدم الفهم الكامل للتركيب الأساسى للمواد الدباليه الناشئ عن تعقدها وعدم تجانسها . أقترح Schulten and Schnitzer, (1993) التركيب الموضح فى الشكل رقم (10-6) لحمض الهيوميك بناءاً على العديد من التحاليل الكيميائيه .

جدول (5-10) : النسب الذريه للعناصر فى حمضى الهيوميك والفولفيك .

Source	H/C	O/C	N/C	References
Soil fulvic acids				
Average of many samples	1.4	0.74	0.04	Schnitzer and Khan (1978)
Average of many samples	0.83	0.70	0.06	Ishiwatari (1975)
Average of many samples	0.93	0.64	0.03	Malcolm *et al.*,(1981)
Soil humic acids				
Average of many samples	1.0	0.48	0.04	Schnitzer and Khan(1978)
Average of many samples	1.1	0.50	0.02	Ishiwatari(1975)
Neutral soils, average	1.1	0.47	0.06	Hatcher (1980)
Aldrich humic acid	0.8	0.46	0.01	Steelink *et al.*, (1989)
Amazon HA/FA	0.97	0.57	0.04	Leenheer (1980)

From Steelink, C. In " Humic Substances in Soil, Sediments, and Water" (G.R. Aiken, D. M. McKnight, an R.L.Wershaw, eds.), pp. 457-476.

فى التركيب المقترح لحمض الهيوميك يتواجد الأكسجين فى صورة كربوكسيلات وفينولات وهيدروكسيلات كحوليه واسترات وإيثرات كربوكسيليه بينما يتواجد النتروجين فى صورة nitriles وتركيبات حلقيه . والرمز الكيميائى للتركيب البنائى لحمض الهيوميك الموضح بشكل رقم (6-10) هو $C_{308} H_{328} O_{90} N_5$ والوزن الجزيئى له = 5540 Da والتركيب العنصرى له كما يلى :

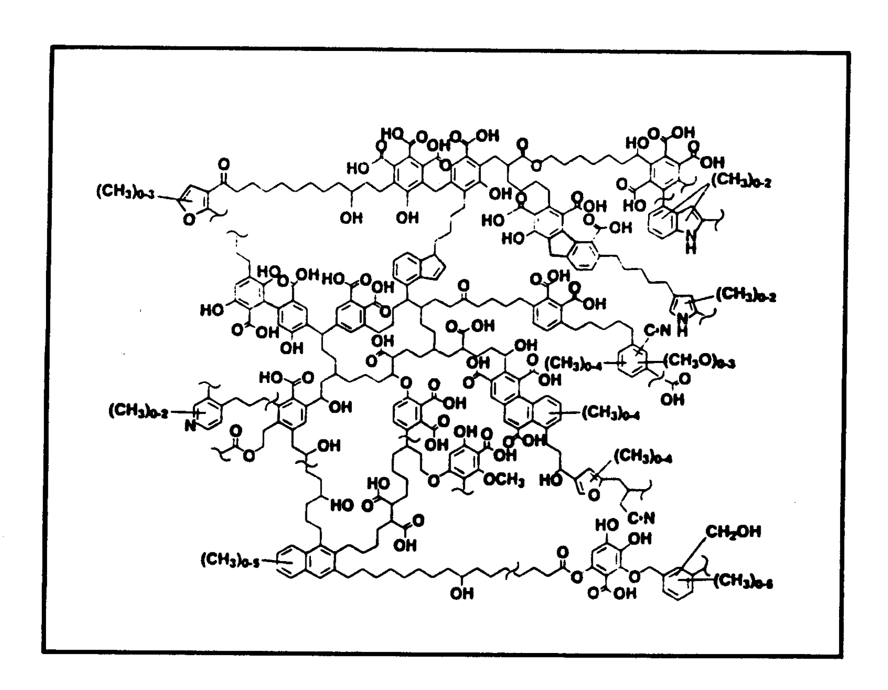
66.8 % C, 6.0 % H, 26.0 % O, 1.3 % N

وعموما التقدم فى فهم كيمياء مادة التربه العضويه يتوقف الى حد كبير على المقدره على فصل مكونات المواد الدباليه بصوره نقيه تماما .

خصائص المجاميع الفعالة والشحنات فى مادة التربة العضوية

Functional groups and charge characteristics

تلعب مادة التربه العضويه دوراً هاماً فى إدمصاص الأيونات لأن مساحه السطح والسعه التبادليه الكاتيونيه للمواد الدباليه أعلى من مثيلاتها فى معادن الطين لذلك حوالى 80% من السعه التبادليه الكاتيونيه فى الأتربه يعزى الى المادة العضويه .



شكل (6-10): التركيب البنائى لحمض الهيوميك (Schulten and Schnitzer, 1993)

تحمل مادة التربه العضويه شحنات مختلفه وتتميز بإنخفاض Zero Point of Charge (zpc) الخاصه بها (حوالى 3) ولذلك فإن مادة التربه العضويه تحمل شحنات سالبه عند درجة حموضه أعلى من 3 وتزيد الشحنات السالبه بزيادة درجة الحموضه pH نتيجه فقد البروتونات من المجاميع الفعاله . لأن مجاميع الكربوكسيل والفينول يمكن أن تفقد بروتون عند درجات الـ pH الشائعه فى الأتربه فإن وجود الشحنات السالبه فى مادة التربه العضويه يعزى أساساً الى هذه المجاميع الفعاله. حوالى 55% من السعه التبادليه الكاتيونيه لمادة التربه العضويه يرجع أساساً الى مجاميع الكربوكسيل بينما 30% من السعه التبادليه الكاتيونيه لماده التربه العضويه يرجع الى مجاميع الفينول والكوينون والإينول .

تأثير مادة التربة العضوية على خواص التربة

تؤثر مادة التربه العضويه على الخواص الكيميائيه والفيزيائيه للتربه (جدول10-6) كما يلى :

١- تعمل على تحسين كل من بناء التربه وقوة مسك التربه للماء والتهويه والتحبب مصدر هام للعناصر الغذائيه الكبرى مثل N, P, S والعناصر الغذائيه الصغرى مثل Mo, B .

٢- تعتبر مصدراً للطاقة للكائنات الحيه فى التربه وذلك لأحتوائها على كميه كبيرة من الكربون فنجد أن كمية الكربون فى التربه ($30\text{-}50 \times 10^{14}$ kg) أعلى من مثيلاتها فى مصادر الكربون الأخرى فى الأرض Earth مثل ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى ولكنها أقل من كمية الكربون الموجوده فى الترسيبات البحريه والتى تحتوى على ما يقرب من 200.000×10^{14} kg كربون .

٣- السطح النوعى لماده التربه العضويه مرتفع ($800\text{-}900\ m^2g^{-1}$) وتتراوح السعة التبادليه الكاتيونيه لها بين $150\text{-}300\ cmol\ kg^{-1}$ لذلك فإرتفاع السعة التبادليه الكاتيونيه فى الأفق السطحى للتربه يكون نتيجة وجود مادة التربه العضويه بنسب أكبر من الأفاق تحت السطحيه.

٤- نتيجة كبر السطح النوعى والسعه التبادليه الكاتيونيه لمادة التربه العضويه فأن مادة التربه العضويه لها القدره على أمتصاص العناصر الغذائيه الكبرى والصغرى والعناصر الثقيله والكيماويات العضويه مثل المبيدات ولذلك نجد أن إمتصاص المغذيات بواسطة النبات وبالأخص العناصر الصغرى مثل النحاس والمنجنيز وكذلك المبيدات تتأثر بدرجة كبيرة بوجود مادة التربه العضويه لذلك فإن اضافات السماد العضوى الى التربه يؤدى الى زيادة صلاحيه العناصر الصغرى فى الأتربه القلويه التى يحدث فيها ترسيب لهذه العناصر عند درجات pH المرتفعه ويقلل من صلاحيتها.

٥- تكوين معقدات بين مكونات التربه العضويه مثل حمض الفولفيك Fulvic acid والفلزات مثل Cd^{+2} ، Al^{+3} يقلل من حركة هذه العناصر فى التربه وبالتالى يقلل من أمتصاص هذه العناصر بواسطة النبات.

جدول (6-10) : الخواص العامه لمادة التربه العضويه وتأثيرها على الخواص الكيميائيه والفيزيائيه للتربه.

الخاصيه	ملاحظات	التأثير على التربه
اللون Color	يعزى اللون الغامق للعديد من الأتربه الى وجود الماده العضويه	يعمل على تدفئة التربه
إمتصاص الماء Water retention	يمكن للماده العضويه إمتصاص ومسك ما يعادل حوالى 20 ضعف وزن الماء	يمنع جفاف التربه ويزيد من قدرة التربه الرمليه على الإحتفاظ بالماء
الإلتحام مع معادن الطين	يعمل على إلتحام حبيبات التربه وتحسين بناء التربه aggregation	يسمح بتعادل الفلزات وتثبيت البناء ويزيد من النفاذيه
الخلب Chelation	يكون معقدات مع النحاس Cu^{2+} ، Mn^{2+} ، Zn^{2+} والكاتيونات عديده التكافؤ	يزيد من صلاحية العناصر الصغرى للنبات
الذائبيه فى الماء	مادة التربه العضويه تكون غير ذائبه فى الماء نتيجة إرتباطها بمعادن الطين وكذلك الكاتيونات ثنائيه التكافؤ وثلاثيه التكافؤ المرتبطه بالماده العضويه تكون غير ذائبه	قلة فقد المادة العضويه بواسطة الغسيل
الفعل التنظيمى Buffer action	تظهر الماده العضويه فعلاً تنظيمياً فى الأتربه الحمضيه والمتعادله والقلويه	تساعد على تجانس التفاعلات فى التربه
التبادل الكاتيونى Cation Exchange	الحموضه الكليه للدبال تتراوح بين 300 -1400 $cmol\ kg^{-1}$	تزيد السعه التبادليه الكاتيونيه فى الأتربه بحوالى % 70- 20
المعدنه	تنتج عن تحلل الماده العضويه Co_2 $NH_4^+, NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}$	مصدر العناصر الغذائيه لنمو النبات
الإتحاد مع الكيماويات العضويه	تؤثر على النشاط الحيوى والتحلل للمبيدات والكيماويات العضويه	تعدل من معدل إضافة المبيدات بغرض السيطره الفعليه

مراجع الفصل العاشر

Aiken, G.R.; Mcknight, D.M. and Wershaw, R.L. (1985). Humic Substances in Soil Sediments and Water. Wiley Interscience. New York.

Alexander, M. (1982). Soil Microbiology. John Wiley & Sons, New York.

Haung, P.M. and M. Schnitzer (1986). Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. SSSA Special Publication No. 17. Madison, WI.

Kononova, M.M. (1966). Soil Organic Matter. Pergamon. New York.

Schnitzer, M. and S.U. Khan (1987). Soil Organic Matter. Elsevier, New York.

Schulten, H.R. and M. Schnitzer (1993). A State of the Art Structural Concept for Humic Substances. Natur Wissenschaften. 80: 29-30.

Sparks, D.L. (1994). Environmental Soil Chemistry. Academic Press, New York.

Stevenson, F.J. (1982). Humus Chemistry. Wiley, New York.

Tate, R.L. (1987). Soil Organic Matter: Biological and Ecological Effects. Wiley. New York.



الفصل الحادى عشر

التركيـب المعــدنى للأراضــى

Mineral Composition of Soils

- قــواعد بولـنج
- المـعــادن
- التركيب البنائى لمعادن الطين
- معادن الطين الفيللوسليكاتية الهامة فى التربة
- الشحنة السطحية لمعادن الطين



التركيب المعدنى للأراضى

Mineral Composition of Soils

تعرف التربة Soil بأنها خليط مختلف التركيب من معادن نتجت من عمليات التجويه Weathering الفيزيائية والكيميائية والحيوية للصخور والرواسب المكونة لمادة الأصل Parent material ومواد عضوية نتجت من النشاط الحيوى للكائنات الحية بأنواعها المختلفة . هذه المواد المعدنية والعضوية تكونان الطور الصلب Solid phase من نظام التربة والطور الصلب يمثل حوالى 50% من حجم التربة (45% مواد معدنية ، 5% مواد عضوية) .

الجدول رقم (11-1) يوضح تركيب القشرة الأرضية من العناصر حيث نجد أنها تحتوى على عناصر الأكسيجين ، السليكون ، الحديد ، الألمونيوم ، الكالسيوم ، البوتاسيوم ، الصوديوم والمغنسيوم بكميات كبيرة .

ويلاحظ أن عنصر الأكسيجين وحده يمثل حوالى 47% من وزن القشرة الأرضية وهذا يعادل أكثر من 90% من حجمها .

والمكونات المعدنية للتربة تمثل أكثر من 90% من الطور الصلب ونجد أن خواص هذه المكونات مثل الحجم والسطح النوعى والشحنات الموجودة تؤثر بدرجة كبيرة على جميع العمليات والتفاعلات الكيميائية التى تحدث بها .

والمكونات المعدنية فى التربة تشمل كلاً من المعادن الأولية والثانوية التى يتراوح حجمها (قطر الحبيبة) بين حجم غرويات الطين (0.002 mm <) إلى حجم الحصى (2 mm <) والصخور .

جدول (11-1) : تركيب القشرة الأرضية من العناصر .

العنصر	٪ (بالوزن)	٪ (بالحجم)
أكسجين	46.6	93.77
سليكون	27.7	0.86
ألومونيوم	8.1	0.47
حديد	5.0	0.43
كالسيوم	3.6	1.03
مغنسيوم	2.1	0.29
صوديوم	2.8	1.32
بوتاسيوم	2.6	1.83
المجمــوع	98.5	~ 100
تيتانيوم	0.50	
هيدروجين	0.14	
فوسفور	0.11	
منجنيز	0.09	
كبريت	0.03	

ومن المفيد هنا ذكر بعض التعريفات الخاصـة بالمعـادن الأوليـة والثانويـة وأيضـا تواجدهما فى التربة .

المعدن Mineral

يعرف بأنه مركـب طبيعىغـيرعضوى لـه خـواص فيزيائيـة وكيميائيـة وبللوريـة محددة .

المعدن الأولى Primary mineral

وهو المعدن الذى لم يتغير تركيبه الكيميائى أو البللورى منذ تكونه من مصهـور المعادن Molten lava وإنفصاله عند برودة الماجما Magma .

والمعادن الأولية الشائعة الوجود فى الأراضـى تشـمل الكوارتـز والفلسـبارات . كما يوجـد معادن البيروكسينات والميكا والأمفيبولات والأوليفنيات ولكن بكميـات

قليلة . وتتواجد المعادن الأولية أساسا فى حبيبات الرمل (2-0.05 mm) وحبيبات السلت (0.05 - 0.002 mm) .

المعدن الثانوى Secondary mineral

وهو المعدن الذى تكون نتيجة التجويه الكيميائية للمعدن الأولى . إما عن طريق التغير فى البناء Structure أو عن طريق ترسيب نواتج تجويه المعدن الأولى .

والمعادن الثانوية الشائعة الوجود فى الأتربة هى معادن الطين السليكاتية مثل الكاؤولينيت والمونتموريللونيت والأكاسيد مثل الجبسيت Gibbsite ، الجيوثيت Goethite والمواد الأمورفيه مثل الألوفان Allophane ومعادن الكبريت والكربونات.

وتتواجد المعادن الثانوية أساساً فى الجزء الطينى من التربة كما يمكن أيضا التعرف على بعض هذه المعادن فى الجزء السلتى .

قواعد بولنج PAULING'S RULES

الروابط الكيميائية هى المسئولة عن ربط الذرات والأيونات لتكوين الجزيئات وربط الجزيئات لتكوين البلورات وربط البلورات لتكوين الحبيبات وربط الحبيبات والبلورات لتكوين الصخور .

ومعظم تراكيب المعادن الموجودة فى التربة تعتمد فى تراكيبها على الرابطة الأيونية . وكما هو معروف فإن الرابطة الأيونية تنشأ بين الأيونات ذات الشحنات المختلفة الموجودة فى المعدن لتكون رابطة كيميائية قوية .

أيضا الرابطة التعاونية Covalent bond هى تلك الرابطة التى تنتج نتيجة إشتراك الذرات مع بعضها فى زوج أو أكثر من الإلكترونات . ونجد أن أغلب الروابط الكيميائية هى عبارة عن مزيج من الرابطتين التعاونية والأيونية فنجد مثلاً الرابطة Si - O هى عبارة عن 50% رابطة تعاونية ، 50% رابطة أيونية . بينما رابطة Al - O تكون 40% تعاونية ، 60% أيونية .

ولكى ينتج ترتيب بللورى ثابت للأيونات يجب أن تكون الأيونات مرتبة ترتيبا منتظما ومتجاوراً على قدر الإمكان . فالأيونات كبيرة الحجم عادة تأخذ مواقعها بحيث تحيط بالأيونات الموجبة صغيرة الحجم إحاطة جيدة وهذا يعنى أن الأيونات الموجبة تختلف فى إختيار الشكل الهندسى الذى تفضل الإرتباط به بالأيونات السالبة وبالتالى فى الأعداد التى ترتبط بها ولايتوقف عدد إحاطة الأيون الموجب على شحنته وإنما يتوقف أساساً على نصف قطره وبالتالى إمكانية دخوله فى الشكل الذى يعطيه أكبر قدر من الثبات .

وعامة يمكن التنبؤ بالتركيب المعدنى والترتيب الذرى للمعادن عن طريق مايسمى بقواعد بولنج للترتيب الذرى وفيما يلى شرح موجز لهذه القواعد وأهمية ذلك فى التركيب البللورى للمعادن الموجودة فى التربة .

القاعـدة الأولى :
تكون الآنيونات شكلاً متعدد الأوجه حول كل كاتيون وتتحدد المسافة بين الكاتيون والأيون بواسطة مجموع أنصاف أقطارهما كما يتحدد عدد الإحاطة الخاص بالكاتيون بواسطة نسبة أنصاف أقطارهما.

يوضح جدول رقم (2-11) أنصاف أقطار الكاتيونات والأيونات شائعة الوجود فى المعادن الموجودة بالتربة وكذلك أعداد الإحاطة ونسب أنصاف أقطار الكاتيونات شائعة الوجود بالنسبة للأكسيجين بإفتراض أن الأكسيجين هو الأيون السائد فى التربة .

ويعتبر عدد الإحاطة coordination number دالة لنسبة أنصاف أقطار الكاتيون والآنيون ويعرف بأنه عدد الآنيونات المحيطة بالكاتيون فى المعدن . وعادة نجد أن الكاتيونات الموجودة فى معادن التربة يكون لها أعداد إحاطة 4 ، 6 ، 8 أو 12 ونسبة نصف القطر هى عبارة عن نسبة نصف قطر الكاتيون إلى نصف قطر الأيون .

جدول (2-11) : أنصاف أقطار الأيونات (IR) وأعداد الإحاطة (CN) ونسبة أنصاف أقطار الكاتيونات بالنسبة للأكسيجين .

الأيـــون	نصف القطر ionic Raduis nm	نصف قطر الكاتيون / نصف قطر الأكسجين Radius Ratio	عدد الإحاطه Coordination number (CN)
O^{2-}	0.140	-	-
F^{-}	0.133	-	-
Cl^{-}	0.181	-	-
Si^{4+}	0.039	0.279	4
Al^{3+}	0.051	0.364	4,6
Fe^{3+}	0.064	0.457	6
Mg^{2+}	0.066	0.471	6
Ti^{4+}	0.068	0.486	6
Fe^{2+}	0.074	0.529	6
Mn^{2+}	0.080	0.571	6
Na^{+}	0.097	0.693	8
Ca^{2+}	0.099	0.707	8
K^{+}	0.133	0.950	8,12
Ba^{2+}	0.134	0.957	8,12
Rb^{+}	0.147	1.050	8,12

والشكل رقم (1-11) يوضح العلاقة بين نسبة نصف القطر ، عدد الإحاطة والتوزيع الهندسي للأيونات حول الكاتيون المركزى وبإفتراض أن نصف قطر أيون الأكسيجين هو 0.140 nm نجد من الشكل (2-11) أن كاتيون السليكون رباعى التكافؤ يكون محاطا بأربعة أيونات أكسيجين مكوناً شكل هرم رباعى (تتراهدرا Tetrahedra (نسبة أنصاف الأقطار 0.279 = 0.140 / 0.039) .

الألومنيوم (Al^{-3}) ثلاثى التكافؤ يمكن أن يحاط بأربعة أيونات أكسيجين حيث أن نسبة نصفى القطر = 0.364 = 0.14 / 0.051 . والحقيقة أن الألومنيوم يمكن أن يحاط بأربع أو ستة أيونات أكسيجين وهذا يتوقف على درجة الحرارة أثناء تبلور المعدن فإرتفاع درجة الحرارة يؤدى إلى خفض عدد الإحاطة (أربعة) بينما فى

درجات الحرارة المنخفضة يكون عدد الإحاطـة (ستة) هـو المفضـل . وتتـوزع هـذه الآنيونات فى شكل أوكتاهيدرا .

Radius Ratio	Coordination Number	Geometrical Arrangements of Nearest Anions around a Central Cation
0.15 - 0.22	3	Corners of an equilateral triangle
0.22 - 0.41	4	Corners of a tetrahedron
0.41 - 0.73	6	Corners of an octahedron
0.73 - 1.00	8	Corners of a cube
1.00	12	Corners of a cubo-octahedron

شكل (1-11) :
يوضح العلاقة بين نسبة نصف القطر وعدد الإحاطة والتوزيع الهندسى للآنيونات حول الكاتيون المركزى .

أيضـا بنـاءاً علـى المعلومـات الموجـودة فـى شـكل (1-11) نجـد أن أيونـات Mg^{+2}, Fe^{+3}, Fe^{+2} يمكـن أن تحـاط بعـدد ٦ أيونـات أكسـيجين علـى شـكل أوكتاهيدرا.

القاعـدة الثانية :
في أي تركيب بللوري ثابت يكون مجموع روابط التكافؤ التي تصل كل آنيون من الكاتيونات المجـاورة لـه مسـاوية لشحنة هذا الآنيون .

وهـذه القـاعدة هـي إحـدى مبـادىء التكـافؤ الكهروسـتاتيكي Electrostatic valency ويمكن شرح هذه القاعدة والتعبير عنها كمايلي :

$$S = Z / CN$$

حيـث :

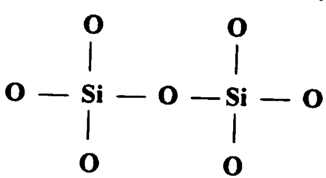
S هي عبارة عن قوة الرابطة الإلكتروستاتيكية لكل آنيون
Z تكافؤ الكاتيون
CN عدد الإحاطة

ولتطبيق ذلك على :

١- السليكون في شكل التراهيدرا نجد أن :

$$\text{قوة الرابطة الإلكتروستاتيكية} = \frac{Z\ (4)}{CN\ (4)} = 1$$

أي أن أيونَ السليكون يشترك بوحدة تكافؤ لكل أيون أكسيجين من الأيونـات الأربعة المحيطة به ولما كان كل أيون أكسيجين يحتاج إلى وحدتي تكافؤ لكـي يصبـح النظام متعادلا كهربائيا فلابد أن يرتبط أيون الأكسيجين بأيونين من السـليكون لكـي يحدث الإتزان الكهربائي .



٢- الألومنيوم فى شكل الأوكتاهيدرا نجد أن :

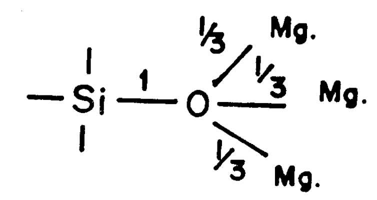
$$\text{قوة الرابطة الكهروستاتيكية} = \frac{Z\ (3)}{CN\ (6)} = 0.5$$

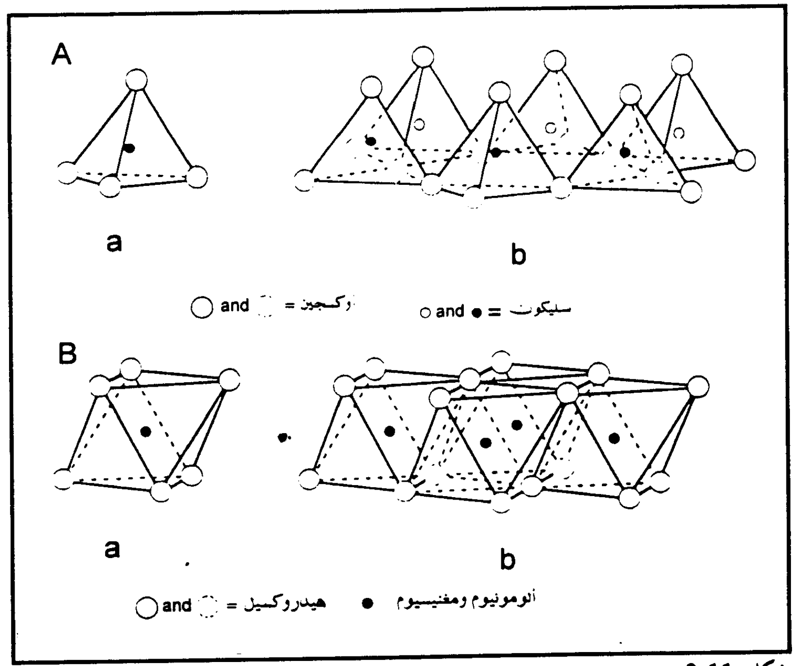
أى أن أيون الأكسيجين فى هذا التركيب سوف يصله ½ وحدة تكافؤ من كل أيون ألومنيوم وعند إستبدال Al محل السليكون فى طبقة التراهيدرا تصبح قوة الرابطة تساوى $Z\ (3) / CN\ (4) = 0.75$ وليس 1

الألومنيوم فى طبقة الأوكتاهيدرا   إستبدال Al محل Si فى طبقة التراهيدرا

وعند إستبدال المغنسيوم Mg^{2+} محل Al^{3+} فى طبقة الأوكتاهيدرا نجد أن :

$$\text{قوة الرابطة الكهروستاتيكية} = \frac{2^{+}}{6} = 0.33$$





شكل (2-11) :

(A) رسم تخطيطي يوضح (a) وحدة فردية من تتراهيدرا السليكا (b) تركيب طبقي من وحدات التتراهيدرا .

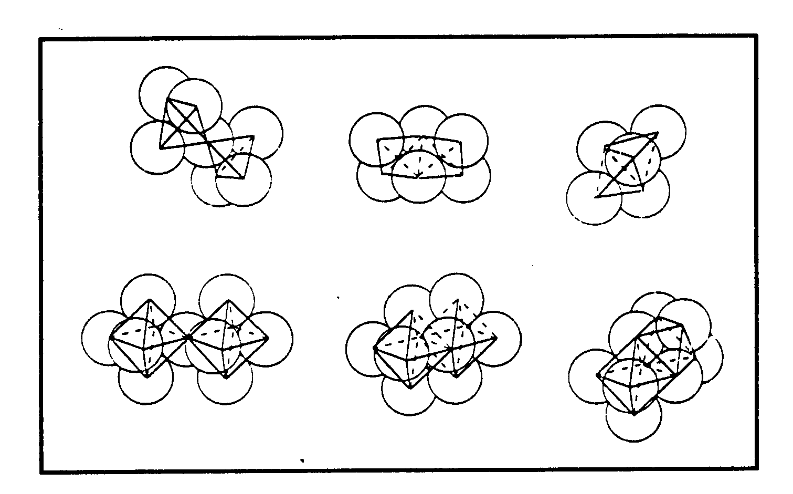
(B) رسم تخطيطي يوضح (a) وحدة فردية من الأوكتاهيدرا (b) طبقة من وحدات الأوكتاهيدرا (Grim R.E., 1968) .

القاعـدة الثالثة :

وجود الحواف وخاصة الأوجه المشتركة فى التركيب البنائى يقلل من ثبات هذا التركيب ويكون تأثير ذلك كبيراً بالنسبة للكاتيونات عالية التكافؤ والقليلة فى أعداد الإحاطة ويزيد هذا التأثير عندما تقترب نسبة أنصاف الأقطار من الحد الأدنى اللازم لثبات هذا التركيب .

والقاعدة رقم ٣ هى فى الواقع قانون كولومب للكاتيونات وتوضح وجود ثلاث طرق لإرتباط وحدات التراهيدرا ببعضها وكذلك وحدات الأوكتاهيدرا (شكل 2-11 A, B) وهى:

* القمم Point - to - point وهذا الإرتباط هو الأكثر ثباتاً
* الحواف Edge - to - edge
* الأوجه Face - to - face وهذا الإرتباط هو الأقل ثباتاً (شكل 11-3) .



شكل (11-3) :
يوضح طرق إرتباط وحدات التتراهيدرا ببعضها وكذلك وحدات الأوكتاهيدرا ببعضها بواسطة الحواف والقمم والأوجه (Pauling, L. , 1940)

وفى الكاتيونات عالية التكافؤ مثل السليكون Si^{4+} نجد أن وحدات التراهيدرا ترتبط ببعضها عن طريق القمم point -to- point وفى حالة الكاتيونات الأقل تكافؤ مثل Al^{3+} نجد أن وحدات الأوكتاهيدرا ترتبط ببعضها عن طريق الحواف edge -to- edge وعامة البوليهدرا لاترتبط عن طريق الأوجه Faces .

القاعـدة الرابعة :
فى البلورات التى تحتوى على كاتيونات مختلفة تميل الكاتيونات عالية التكافؤ والقليلة فى أعداد الإحاطة إلى عدم الإشـتراك مـع بعضها فى التركيب البلورى .

وهذه القاعدة توضح أن الكاتيونات عالية التكافؤ تظل بعيدة عن بعضها البعض قدر الإمكان وذلك لتقليل الطاقة الخاصة بالبلورة crystal's coulomb energy .

القاعـدة الخامسـة :
المكونات المختلفة الأشكال التى تدخل فى تركيب البلورة تميـل أن يكون عددها صغيراً (أقل مايمكن) .

وذلك لأن جميع المواد تميل إلى أن يكـون لهـا أقـل جهـد طـاقى ممكـن ووجـود العديد من المواد سوف يؤدى إلى تكويـن بنـاء معقـد ذو جهـد طـاقى كبـير وبالتـالى يكون غير ثابت . والمقصود بالمكونات المختلفة الأشكال هـو الـذرات الموجـودة فـى التركيبـات المختلفـة مثـل ذرات تـتراهيدرا الإرتبـاط أو ذرات أوكتـاهيدرا الإرتبـاط وغيرها .

الإحـلال المتماثل فى المعادن Isomorphous substitution

الإحلال المتماثل هو إحلال أيون محـل آخـر فـى البلـورة بمعنـى أن يحـدث تغير جوهرى فى البلورة ويجب أن يكون حجم الأيون الـذى يقـوم بـالإحلال مسـاويا أو مقـاربا لحجـم الأيون الأصلى (المستبدل) والإختـلاف فى الحجم عـادة يـتراوح بـين 5-15% ويتوقف ذلك على الظروف التى يحـدث تحتهـا التبلـور مثـل درجـة الحـرارة والضغط وفى جميع الأحـوال لابد من المحـافظـة على التوازن الكهربائى فى البلورة .

ومثال للإحلال المتماثل فى المعادن إحلال المغنسيوم محل الحديد فى وحدة الأوكتاهيدرا .

$$Mg^{+2} \rightarrow Fe^{+2}$$

وتوجد حالات يحدث فيها إحلال أيون أقل فى التكافؤ من الأيون الأصلى وفى هذه الحالات لابد أن تدخل أيونات أخرى فى الفراغات الموجودة فى البلورة كما يحدث فى معادن الفلسبارات Feldspars .

$$Al^{+3} + Na^{+1} \rightarrow Si^{+4}$$
$$2\,Al^{+3} + Ca^{+2} \rightarrow 2\,Si^{+4}$$
$$Al^{+3} + K^{+1} \rightarrow Si^{+4}$$

ويمكن أيضا أن يحل أيون أكبر فى التكافؤ من الأيون الأصلى وفى هذه الحالة لابد أن يحدث توازان داخلى فى التركيب مثل التوازن بين أيونات الأكسيجين والهيدروكسيل داخل معادن الطين .

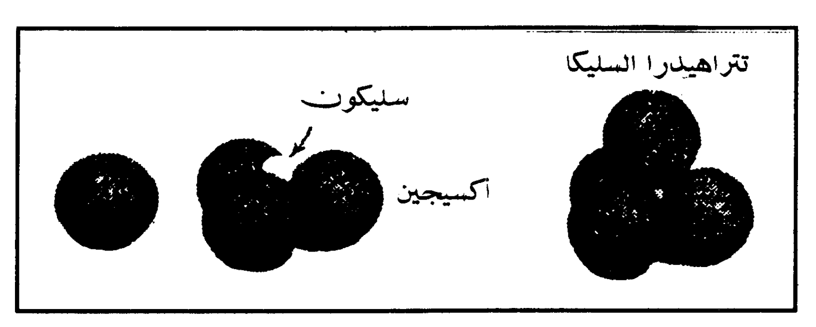
$$O^{-2} \rightleftarrows OH^{-1} + e$$

قواعد Goldshmidt للإحلال المتماثل

١. إذا كان لأيونين شحنة الكتروستاتيكية واحدة ولهما أنصاف أقطار متماثلة بحيث يمكن أن يشغلا نفس الموقع فى بلورة معينة فإن الأيون ذو نصف القطر الأصغر يمكنه أن يدخل فى التركيب البللورى بدل الأيون الأكبر حجماً .
٢. إذا كانت الأيونات متماثلة فى الحجم ومختلفة فى الشحنة فإن الأيون ذو الشحنة الأكبر يدخل البلورة بدل الأيون الأقل فى الشحنة .

أولا : مجموعة السليكات Silicate Minerals Group

تعتبر السليكا الرباعية silica tetrahedra هى الوحدة البنائية الأساسية للمعادن السليكاتية (شكل 11-4) وهى تتكـون مـن كـاتيون سـليكون Si^{+4} مركـزى مرتبـط بأربعة أيونات أكسيجين O^{-2} متلاصقة فى تجاور تام فى شكل ربـاعى . ويلاحـظ أن التجويف بين أيونات الأكسيجين يناسب تماماً حجم أيون السـليكون هـذا بالإضافـة إلى توازن الشحنات بينهما مما يعطى هذا البناء صلابته .



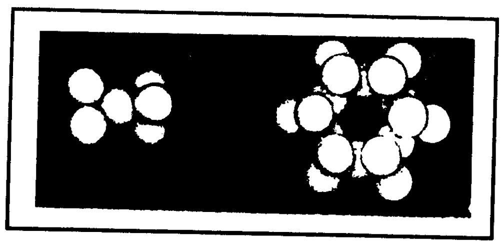
شكل (11-4) : نموذج توضيحى لترتيب ذرات السليكون والأكسيجين فى معادن السليكات

وقد ترتبط وحدتين أو أكـثر مـن تراهيـدرا السـليكا بطـرق عديـدة ينتـج عنهـا العديد من المعادن السليكاتية . لذلك فإن معادن السليكات تقسم على أساس طريقـة إرتباط تراهيدرا السليكا ببعضها (شكل 11-5) .

أقسام معادن السليكات Classification of Silicate Minerals

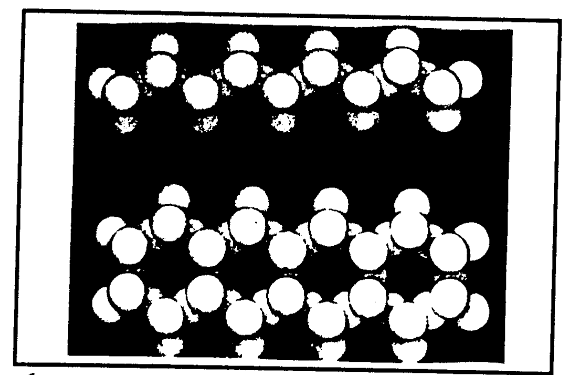
١. **السـليكات المفـردة Nesosilicates**. وهـى عبـارة عـن وحـدات مفـردة مـن السـليكا $(SiO_4)^{-4}$. وقـد ترتبـط عـدة وحـدات عـن طريـق كـاتيون وسـيط كالماغنسـيوم مكونـا الفورستيريت Mg_2SiO_4 ، أو الماغنسـيوم والحديـد مكونـا الأوليفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$.

٢. السليكات المزدوجة **Sorosilicates** . وهى عبارة عن وحدتين من السليكا الرباعية مرتبطتين عن طريق أيون أكسيجين مشترك $(Si_2O_7)^{-6}$ وقد ترتبط بمجاميع أخرى مماثلة عن طريق كاتيون معدنى ومن أمثلتها الإبيدوت (شكل 11-5) .



شكل (11-5) :
إرتباط وحدة السليكا الرباعية لتكوين معادن السليكات المزدوجة والسليكات الحلقية .

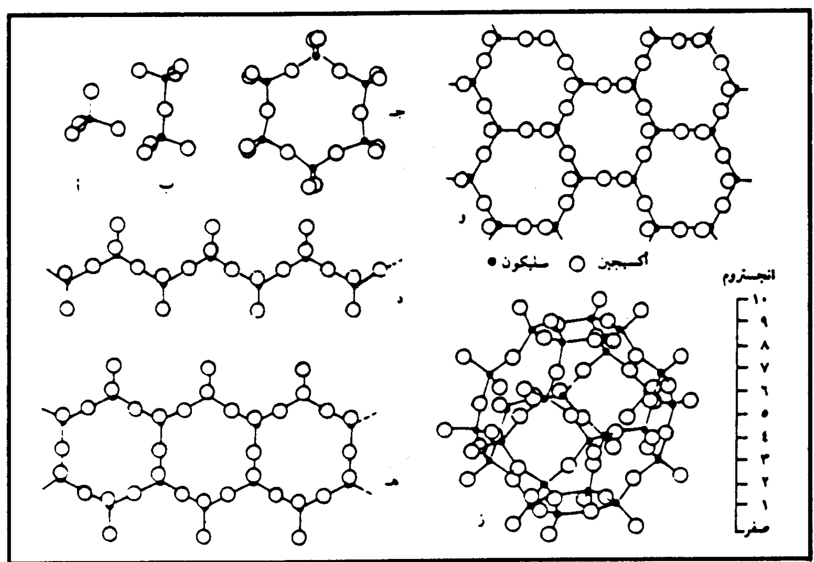
٣. السليكات الحلقية **Cyclosilicates** . وهى عبارة عن وحدات سليكا رباعية مرتبطة فى تركيب حلقى عن طريق أيونين مشتركين من الأكسيجين $(SiO_3)^{-2}$ ومن أمثلتها البيريل $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ ، والتورمالين $M_7Al_6(OH,F)_4(BO_3)_3$.



شكل (11-6) : إرتباط وحدة السليكا الرباعية لتكوين معادن السليكات السلسلية . (العلوى سلسلة فردية والسفلى سلسلة مزدوجة)

٤ . **السليكات السلسلية Inosilicates** . وهى عبارة عن وحدات من السليكا الرباعية مرتبطة فى سلسلة مفردة Single chain عن طريق أيونين مشتركين من الأكسيجين $(SiO_3)^{-7}$ ، كما فى حالة الأوجيت وهو من البيروكسينات ، أوقد تتكون سلسلة مزدوجة Double chain ، بإرتباط سلسلتين مفردتين عن طريق أيون أكسيجين ثالث $(Si_4O_{11})^{-6}$ كما فى حالة الهورنبلند وهو من الأمفيبولات (شكل 11-6) .

٥ . **السليكات الورقية Phyllosilicates** . وهى عبارة عن وحدات سليكا رباعية مرتبطة فى شكل ورقى أو صفائحى عن طريق ثلاثة أيونات أكسيجين مشتركة $(Si_2O_5)^{-2}$ ، ومن أمثلتها التلك $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ، والفلوجوبيت $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$.



شكل (11-7) : رسم تخطيطى يوضح إرتباطات وحدة السليكا الرباعية لتكوين معادن السليكات
أ - السليكات المفردة ب - السليكات المزدوجة
جـ - السليكات الحلقية د - السليكات ذات السلسلة المفردة
هـ - السليكات ذات السلسلة المزدوجة
و - السليكات الورقية ز - السليكات الشبكية

٦. **السليكات الشبكية Tectosilicates** . وهى عبارة عن وحدات من السليكا الرباعية مرتبطة فى شكل شبكى ذى ثلاثة أبعاد عن طريق أربع ذرات أكسيجين مشتركة ومن أمثلتها الكوارتز (شكل 11-7) .

أهم معادن مجموعة السليكات :

١- السليكا Silica

وهى أكثر المعادن شيوعاً بالقشرة الأرضية فهى تمثل 74% من وزنها وتكون الهيكل الأساسى للقشرة الأرضية وتدخل فى تركيب أغلب الصخر . والسليكا عبارة عن ثانى أكسيد السليكون (SiO_2) وتوجد إما فى صورة متأدرته أمورفيه (غير متبلورة) مثل الأوبال opal ($SiO_2 . NH_2O$) أو فى صورة غير متأدرته ومتبلورة مثل الكوارتز أو الرمل Quartz or Sand والرمل هو أهم السليكات المتبلورة وأكثرها إنتشاراً بعد الفلسبارات ويعتبر المكون الرئيسى لأغلب الصخور . وتتميز معادن السليكا عموما بأنها مقاومة للتجويه ، فقيرة فى العناصر الغذائية ، وذات نشاط كيميائى محدود .

٢- الفلسبارات Feldspars

وهى عبارة عن الومينوسليكات غير متأدرته تحتوى على كميات مختلفة من البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم أو الباريوم وهى أكثر المعادن إنتشاراً بالقشرة الأرضية وتشترك مع الكوارتز فى إعتبارهما المكونان الرئيسيان لعديد من الصخور وتعتبرالفلسبارات ذات أهمية كبيرة فى تكوين التربة كما تعتبر مصدراً هاما لعناصر البوتاسيوم والكالسيوم والصوديوم والعديد من العناصر مثل النحاس والرصاص .

وعموما يمكن تقسيم الفلسبارات إلى :

أ. **الأرثوكلاز Orthoclase** : وهو عبارة عن فلسبار بوتاسى تركيبه $K(AlSi_3)O_8$ ولونه وردى ويوجد فى عدة صور لها نفس التركيب الكيميائى ولكن تختلف فى أشكالها البلورية وهو يشمل معادن الأرثوكلاز Orthoclase ، الميكروكلين Microcline ، الساندين Sanidin والأديولاريا Adularia .

ب. **البلاجيوكلاز Plagioclase** : وهى تشمل سلسلة من المعادن المتشابهة فى

بنائها البلورى وتتدرج فى تركيبها الكيميائى بين الألبيت Albite $Na_2(Al_2Si_2)O_8$ وهو بلاجيوكلاز صودى نقى فاتح اللون ، الأنورثيت Anorthite $Ca (Al_2Si_2)O_8$ وهو بلاجيوكلاز كالسى داكن اللون ولايوجد فى صورة نقية وتحتوى البلاجيوكلازات على نسب معتدلة من الحديد والمنجنيز والتيتانيوم كما أنها مصدر هام لعنصرى النحاس والرصاص .

٣ – الميكا Micas

تعتبر ثالث أكثر المعادن السليكاتية شيوعا بعد الفلسبارات والكوارتز ونظرا لقلة صلابة الميكا فهى تنفرد من الصخور وتتكسر طبيعيا بسهولة أثناء عمليات النقل والترسيب لذا فهى تكثر بالرواسب الناعمة والصخور الرسوبية مثل الطين والطفل. والميكا هى سليكات الومنيوم طبقية مع بوتاسيوم بين طبقى أو ماغنسيوم وحديد أو صوديوم وهى تعتبر مصدراً هاما لإمداد التربة بالبوتاسيوم ويوجد منها عدة أنواع أهمها :

أ) **الميكا البيضاء Muscovite** . وتركيبها $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ وهى من النوع ثنائى الأوكتاهيدرا المقاوم للتجويه ويوجد فى صورة صفائح رقيقة ويتحلل عند حوالى $650°C$ إلى أرثوكلاز .

ب) **الميكا السوداء Biotite** . وتركيبها $K(Mg,Fe^{2+})_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ وهى من النوع ثلاثى الأوكتاهيدرا الأقل مقاومة للتجويه .

٤– البيروكسينات والأمفيبولات Pyroxeues and Amphiboles

وهما مجموعتان من المعادن ذات التركيب البنائى المتقارب فهما الومينوسليكات ماغنسيوم وحديد Ferromagnesian من السليكات السلسلية (Inosilicate) ويكونا حوالى 17% من كتلة الصخور النارية . ويتكون البيروكسين من سلاسل من مجموعات السليكات تتراهيدرا SiO_4 والتى ترتبط ببعضها عن طريق أيونين مشتركين من الأكسيجين وعند إرتباط سلسلتين من هذا النوع عن طريق أيون أكسيجين ثالث يتكون معدن الأمفيبول . وهذه المعادن تعتبر مصدراً هاما للماغنسيوم والحديد والكالسيوم وينحصر وجود هذه المعادن بالتربة فى مكونات الرمل والسلت وهى تشمل عدداً كبيراً من المعادن أهمها :

أ – **الأوجيت Augite** وهو من معادن البيروكسينات وتركيبه $Ca(Mg,Fe,Al)(Al_2SiO_6)$.

ب – **انستاتيت Enstatite** وهو من معادن البيروكسينات وتركيبه $MgSiO_3$.

جـ – **ديبوسيد Diposide** (من البيروكسينات) وتركيبه $Ca Mg(Si_2O_6)$.

د – **رودونيت Rhodonite** (من البيروكسينات) وتركيبه $Mn SiO_3$.

هـ – **الهورنبلند Hornblende** (من الأمفيبولات) وتركيبه $NaCa_2(Mg,Fe,Al)_5(Si,Al)_8O_{22}(OH)_2$.

و – **تريمولیت Tremolite** (من الأمفيبولات) وتركيبه $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$.

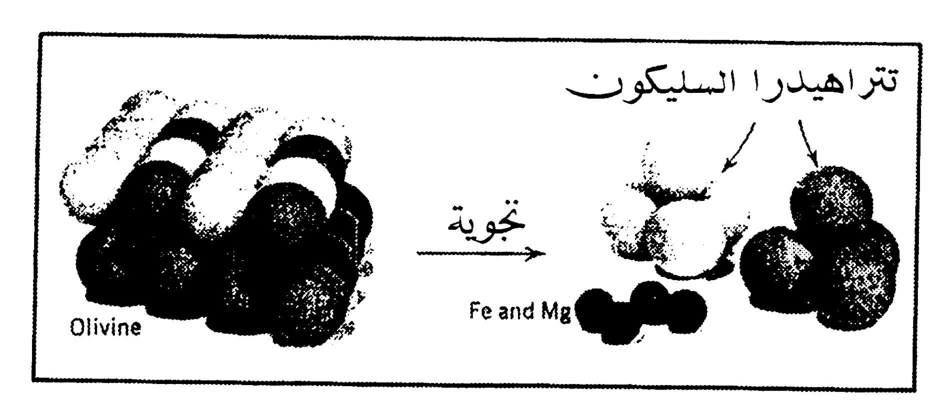
٥– الأوليفينات Olivines

وهى أساسا سليكات حديد وماغنسيوم من النوع المفرد Nesosilicates وينحصر وجودها بالتربة فى مكونات السلت والرمل وتشمل هذه المجموعة عدة معادن منها :

ألفورستريت	Forsterite	$(Mg,Fe) SiO_4$
الفاياليت	Faylite	$Fe SiO_4$
تيفوريت	Tephorite	$Mn_2 SiO_4$

وعموما الروابط بين السليكون والأكسيجين تكون أكثر قوة من الروابط بين الماغنسيوم والحديد مع الأكسيجين ونتيجة لذلك فإن تفاعل الأوليفين مع الماء ينتج عنه إحلال هيدروجين الماء محل الماغنسيوم والحديد فى البلورة بدلا من السليكون ويمكن تشبيه تجويه الأوليفين بأنها عملية فصل لتتراهيدرا السليكون مع إنطلاق الحديد والماغنسيوم كما هو موضح بالشكل (11-8) . والأوليفين ضعيف المقاومة للتجويه ولذلك فهو يتحلل بسرعة ونتيجة لذلك نجد أن الأوليفين لايتواجد فى الغالبية العظمى من الأتربة.

وبوجه عام نجد أنه فى معادن السليكات كلما زادت مشاركة الأكسيجين فى التركيب البلورى للمعدن كلما قلت نسبة الأكسيجين إلى السليكون فى التركيب البنائى للسليكات وبالتالى زادت مقاومة المعدن للتجويه الكيميائية (شكل 11-9) .



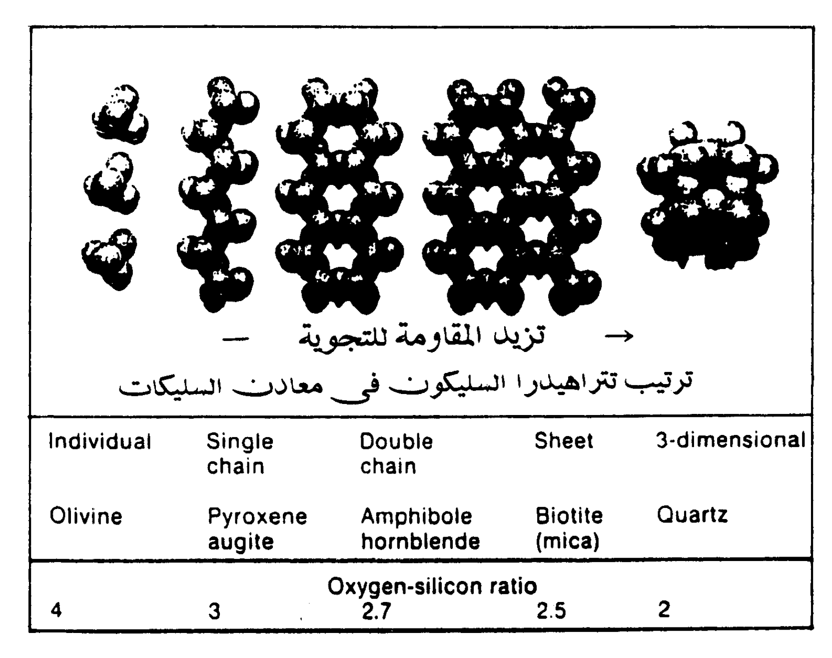
شكل (11-8) : يوضح تجويه الأوليفين حيث ينفصل تتراهيدرا السليكون وينطلق الحديد والماغنسيوم (Foth, 1990) .

٦- معادن الطين Clay Minerals

(أ) التركيب البنائى لمعادن الطين
Structural Chemistry of Clay Minerals

معادن الطين هى تلك المعادن التى تتواجد فى المحتوى الطينى من التربة وهى معادن بلورية ثانوية تركيبها الأساسى عبارة عن سليكات هيدراتية للألومنيوم والحديد والماغنسيوم وتلعب هذه المعادن دوراً هاماً فى التفاعلات والعمليات الكيميائية التى تحدث فى التربة .

وتتكون معادن الطين من وحدات تتراهيدرا السليكا وأكتاهيدرا الألومنيوم مرتبة فى عدة تشكيلات طبقية لذلك فهى تتبع قسم السليكات الصفائحية Phyllosilicates (شكل 11-10) ويختلف هذا التشكيل أو الترتيب بإختلاف نوع الكاتيونات الداخلة فى تركيبها حيث أن حجم الكاتيون هو الذى يحدد عدد أيونات الأكسيجين أو الهيدروكسيل المحيطة بالكاتيون .



شكل (11-9) : يوضح الترتيب الشائع لتتراهيدرا السليكون فى معادن السليكات وعلاقة ذلك بدرجة المقاومة للتجويه (Foth, 1990) .

وتتميز صفيحة تتراهيدرا السليكون بأن مسافة الرابطة Si-O تكون حوالى 0.162 nm ، مسافة O - O حوالى 0.246 nm وتترتب وحدات تتراهيدرا السليكا بحيث تكون جميع القمم فى إتجاه واحد وقواعد التتراهيدرا فى مستوى واحد .

وتتميز صفيحة الأوكتاهيدرا بأن مسافة O - O تكون حوالى 0.267 nm ومسافة OH - OH تكون حوالى 0.294 nm وترتبط وحدات أكتاهيدرا الألومنيوم ببعضها من خلال الحواف .

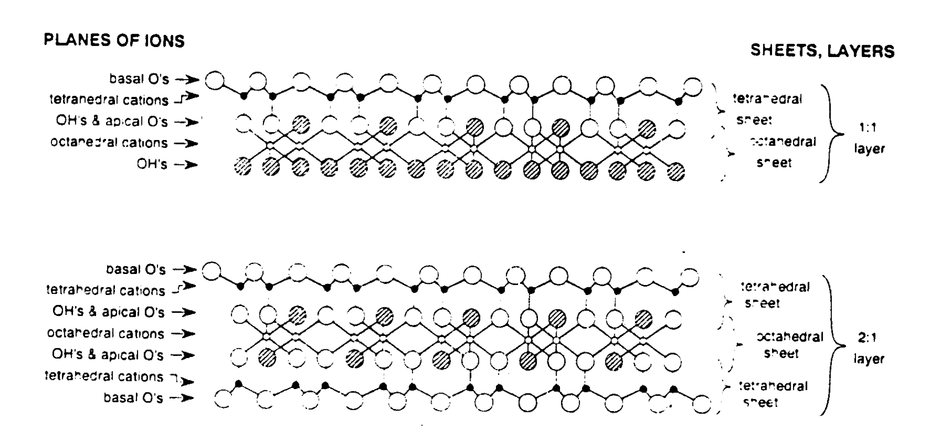
يحدث الإرتباط بين وحدات تتراهيدرا السليكا مع وحدات أوكتاهيدرا

الألومنيوم بعدة طرق لتكوين معادن الطين المختلفة والتى يمكن حصرها فى المجموعات الثلاث الأساسية التالية :

الأولى : إرتباط صفيحة تتراهيدرا السليكون بصفيحة أوكتاهيدرا الألومنيوم مكونة معادن الطين من النوع الطبقى 1 : 1

الثانية : إرتباط صفيحتين من تتراهيدرا السليكون مع صفيحة أوكتاهيدرا الألومنيوم مكونا معادن الطين الصفائحية من النوع الطبقى 2 : 1

الثالثة : وجود صفيحة أوكتاهيدرا الألومنيوم بين وحدتين من النوع 2 : 1 مكونا معادن الطين الصفائحية من النوع الطبقى المتداخل 2 : 1 : 1



شكل (10-11): التركيب البنائى للسليكات الصفائحية Phyllosilicates

وطبقا لقواعد الإحلال المتماثل (تم ذكرها سابقا) نجد أن نصف قطر الكاتيون هو الذى يحدد نوع الكاتيونات التى يحدث لها إحلال فى طبقتى التتراهيدرا والأوكتاهيدرا ففى طبقة التتراهيدرا يمكن أن يحل أيون Al^{+3} محل أيون Si_4 أما فى طبقة الأوكتاهيدرا فيمكن لأيونات Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+} أن يحلو محل أيون Al^{+3} . أى أن أى كاتيون له رقم إحاطة ٤ يمكن أن يحل محل Si^{4+} فى طبقة

التتراهيدرا وأى كاتيون له رقم إحاطة 6 يمكن أن يحل محل أيون Al^{3+} فى طبقة الأوكتاهيدرا وكنتيجة للإحلال المتماثل تتكون الشحن السالبة على معادن الطين .

ويمكن تقسيم معادن الطين بناءاً على عدد مواقع الكاتيونات المشغولة فى طبقة الأوكتاهيدرا ففى حالة إذا ماكان الكاتيون المركزى ثلاثيا فإن ثلثى المواقع الكاتيونية فقط تكون مشغولة لموازنة الشحنة ويسمى هذا البناء ثنائى الأوكتاهيدرا Dioctahedra أما إذا كان الكاتيون المركزى ثنائيا فإن كل المواقع الكاتيونية تكون مشغولة ويسمى هذا البناء ثلاثى الأوكتاهيدرا Trioctahedra .

مثال ذلك : فى حالة وجود الألومنيوم Al^{3+} فى طبقة الأوكتاهيدرا فإن ثلثى مواقع الكاتيونات تكون مشغولة (ثنائى الأوكتاهيدرا) حيث نجد أن (OH) 6 تحتاج إلى أيونين فقط Al^{+3} لمعادلة الشحنات والنتيجة هى $Al_2(OH)_6$ أما إذا حل الماغنسيوم محل الألومنيوم فإن جميع المواقع تملأ لأن أيون الماغنسيوم ثنائى التكافؤ ويصبح من الضرورى وجود ثلاث أيونات من الماغنسيوم لمعادلة الشحنات الناتجة من أيونات (OH) 6 ويصبح المعدن ثلاثى الأوكتاهيدرا Trioctahedral ويصبح تركيب الطبقة هو $Mg_3(OH)_6$. وعموما تتواجد المعادن ثلاثية الأوكتاهيدرا والتى تحتوى على ماغنسيوم فى أتربة المناطق الجافة بينما المعادن ثنائية الأوكتاهيدرا والتى تحتوى على Al^{+3} تتواجد فى أتربة المناطق الرطبة .

(ب) معادن الطين الفيللوسليكاتية الهامة فى التربة

معادن الطين ١ : ١ 1 : 1 clays

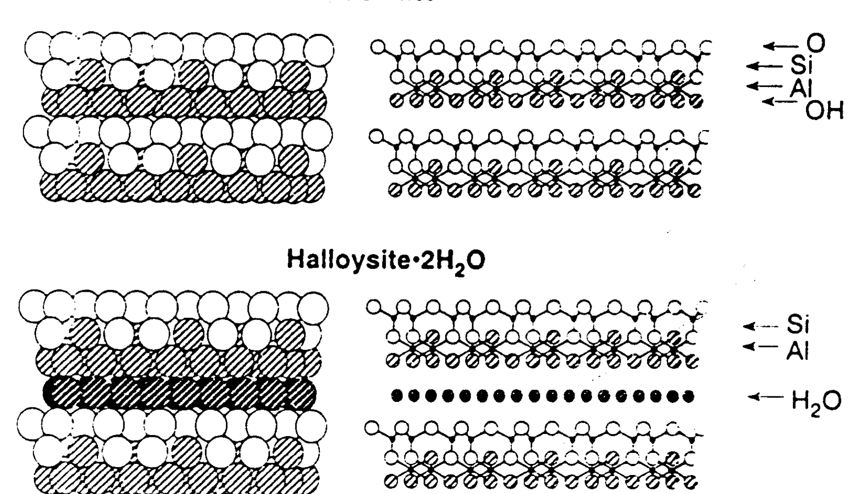
الكاؤولينيت Kaolinite

يعتبر معدن الكاؤولينيت Kaolinite أكثر معادن هذه المجموعة شيوعا فى التربة. وتتكون معادن الكاؤولينيت من طبقة تتراهيدرا السليكا وطبقة أوكتاهيدرا الألومنيوم متحدتين مع بعضهما لتكوين وحدة التركيب ويتم مسك وحدات التركيب الطبقية ببعضها بواسطة الرابطة الهيدروجينية [رابطة إلكتروستاتيكية بين أيون الهيدروجين (H^+) موجب الشحنة والأيونات سالبة الشحنة مثل O^{2-}] ولذلك نجد عدم وجود

مسافة بين وحدات التركيب الطبقية بخلاف معادن الطين 2 : 1 . (شكل 11-11)
والرمز الكيميائى العام للوحدة الكاملة Ideal Full-Cell فى الكاؤولينيت هو $Si_4Al_4O_{10}(OH)_8$.

وتتميز معادن الكاؤولينيت بالآتى :

- لاتتمدد فى الماء لوجود رابطة هيدروجينية بين الوحدات .
- لايوجد إحلال متماثل فى هذه المعادن .
- السعة التبادلية منخفضة جداً وتتراوح بين $2\text{-}15\ cmol\ kg^{-1}$.
- سمك الطبقة المميزة فى الأشعة السينية هو 7 أنجستروم .
- لايتم تكسيرها بسهولة لأن الطبقات ممسوكة ببعضها بقوة .



شكل (11-11) : التركيب البنائى لمعدنىّ الكاؤولينيت والهالويسيت

الهالويسيت Halloysite

أيضا من المعادن الهامة فى هذه المجموعة معدن الهالويسيت Halloysite (شكل 11-11) وهذا المعدن له نفس تركيب معدن الكاؤولينيت والفرق الوحيد يكون فى نظام تتابع الطبقات حيث يحتوى معدن الهالويسيت على جزيئات ماء بين وحدات التركيب (1:1 layer) .

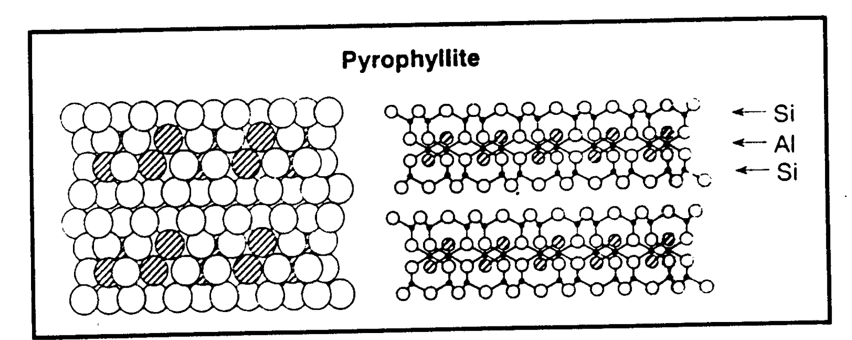
وتتميز معادن الهالويسيت بالآتى :

- تكون على شكل أنابيب قصيرة وغليظة وهذا راجع إلى تلوى المعدن نتيجة إحتوائه على جزيئات ماء بين وحدات التركيب المتكررة .
- لايوجد إحلال متماثل بهذه المعادن .
- لها المقدرة على إمتصاص كميات كبيرة من الكاتيونات الأحادية مثل NH_4^+ .
- الجفاف يؤدى إلى فقد جزيئات الماء الموجودة بين طبقاته .
- السعة التبادلية الكاتيونية تتراوح بين 10-40 cmol kg^{-1}

معادن الطين ٢ : ١ 2 : 1 Clays

البيروفيلليت Pyrophyllite

والرمز الكيميائى العام للبيروفيلليت Pyrophyllite بالنسبة للخلية الكاملة هو $Si_8 Al_4 O_{20} (OH)_4$ (شكل 11-12) .



شكل (11-12) : التركيب البنائى لمعدن البيروفيلليت

وتتميز معادن هذه المجموعة بالآتى :

- شحنة الطبقة لكل نصف خلية هو صفر وذلك لعدم وجود إحلال متماثل .
- لايوجد مسافة بين الطبقات .
- بالرغم من عدم وجود شحنة سالبة دائمة على البيروفيلليت فإن المواقع الموجـودة على الحواف يكون لها تأثير كبير فى إمتصاص العناصر على المعدن .

المونتمويللونيت Montmorillonite

ويتميز بوجـود شحنة طبقية لكل نصف وحدة خلية تتراوح بين 0.2-0.6 (شكل 11-12) والرمز الكيميائى العام لنصف وحدة الخلية المثالى (Ideal half cell) هو $M_{0.33}, H_2O\ Al_{1.67}\ (Fe^{2+}, Mg^{2+})_{0.33}\ Si_4O_{10}\ (OH)_2$ حيث M يرمز إلى الكاتيون الفلزى الموجود بين الطبقات . ويعتبر معدن المونتموريللونيت من المعادن الهامة جـدا فى التربة نظراً للدور الكبير الذى يقوم به فى التفاعلات التى تحدث فى التربـة مثـل تبادل الأيونات والتمـدد والإنكمـاش . ويتكـون معـدن المونتموريللونيـت مـن طبقـة أوكتاهيدرا الألومنيوم محصورة بين طبقتين من تتراهيدرا السـليكون وقـوة الربـط بـين وحـدات الـتركيب تكـون ضعيفـة نسـبياً ممـا يـؤدى إلى وجـود مسـافات نسـبية Interlayer spaces تختلف بإختلاف المحتوى المائى . ولما كانت الكاتيونات الموجودة فى طبقة التتراهيدرا هى Si^{+4} ، الكاتيونـات الموجـودة فـى طبقـة الأوكتـاهيدرا هـى $Al^{+3}, Fe^{2+}, Mg^{+2}$ فيمكن حساب الشحنة السالبة على طبقة التتراهيدرا وهى تساوى صفر أما الشحنة السالبة على طبقة الأوكتاهيدرا فهى تساوى 0.33 – وهذه الشـحنة يتم معادلتها بواسطة الكاتيونات المتبادلة ويمثلها $M_{0.33}$.

وتتميز معادن المونتموريللونيت بالآتى :

- لايوجد إحلال متماثل فى طبقة التتراهيدرا .
- ذات سعة تبادلية عالية $80\text{-}150\ cmol\ kg^{-1}$ ومصدر السعة التبادلية هو الإحـلال المتماثل فى طبقة الأوكتاهيدرا .
- تنتفخ فى الماء وتمتص أربع طبقات من جزيئات الماء أو أكثر .
- لاتثبت هذه المعادن البوتاسيوم لإنخفاض شحنتها وكذلـك لأن مصـدر الشـحنة يكون فى طبقة الأوكتاهيدرا البعيدة عن السطح .

• ينتج عن تكثف الأسطح الداخلية والخارجية للمعدن بسبب التمدد سطح نوعى كبير يصل إلى 700 - 800 m^2/g .

الفيرميكيوليت Vermiculite

وتقسم إلى :

(i) فيرميكيوليت ثنائى الأوكتاهيدرا .

(ii) فيرميكيوليت ثلاثى الأوكتاهيدرا ويتميز الفيرميكيوليت ثنائى الأوكتاهيدرا بأن الإحلال المتماثل يحدث فى كلا من طبقتى التتراهيدرا والأكتاهيدرا بينما فى الفيرميكيوليت ثلاثى الأوكتاهيدرا يحدث الإحلال فى طبقة التتراهيدرا فقط حيث تملأ مواقع التبادل بواسطة كاتيون الماغنسيوم .

ويتكون معدن الفيرميكيوليت أساساً من تجويه معادن الميكا حيث يحدث إحلال للبوتاسيوم بين الطبقى بكاتيونات أخرى . وبالرغم من ذلك نجد أن شحنة الطبقات فى الفيرميكيوليت تكون أقل منها فى الميكا .

ولحساب الشحنة على معدن الفيرميكيوليت سوف نأخذ معدن الفيرميكيوليت ثنائى الأوكتاهيدرا كمثال حيث يحدث الإحلال فى كلا من طبقتى التتراهيدرا والأوكتاهيدرا والرمز الكيميائى العام لنصف وحدة الخلية هو :

$$M_{0.74}\, H_2O\, (\, Si^{4+}_{3.56}\;\; Al^{3+}_{0.44}\,)\, (\, Al^{3+}_{1.4}\;\; Mg^{2+}_{0.3}\;\; Fe^{3+}_{0.3}\,)\, O_{10}\, (OH)_2$$

الشحنة الكلية الموجبة على المعدن :

$$Si^{4+} \quad (3.56 \times 4^+) = 14.24$$
$$Al^{3+} \quad (1.4 + 0.44) \times 3 = 5.52$$
$$Mg^{2+} \quad (0.30 \times 2^+) = 0.60$$
$$Fe^{3+} \quad (0.30 \times 3^+) = 0.90$$

الشحنة الكلية السالبة على المعدن :

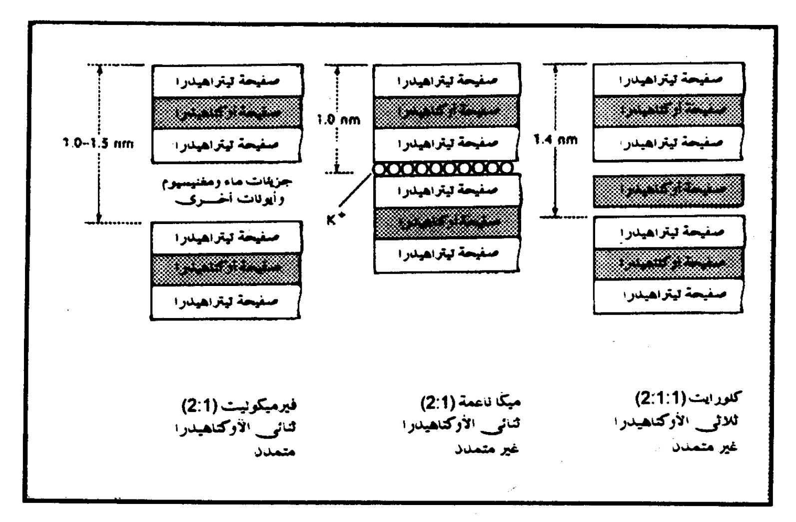
$$O^{2-} \quad (10 \times 2^-) = -20$$
$$OH^{-1} \quad (2 \times 1^-) = -2$$
$$\overline{\quad -22 \quad}$$

∴ صافى الشحنة على معدن الفيرميكيوليت ثنائى الأوكتاهيدرا = 21.26 + (22 -) = 0.74 -

وهذه الشحنة السالبة على الطين يتم معادلتها بواسطة كاتيون فلزى فى المسافة بين الطبقية ويمكن تمثيلها بـ $M_{0.74}$. وجدير بالملاحظة أن الماء الموجود بين الطبقات لم يستخدم فى حساب صافى الشحنة لأنه لايعتبر جزء من التركيب البنائى Structural water (شكل 11-13) .

وعموما تتميز معادن هذه المجموعة بالآتى :

- قدرة عالية على تثبيت البوتاسيوم .
- سعة تبادلية عالية تصل إلى $150\text{-}200\ cmol\ kg^{-1}$.
- سطح نوعى كبير .



شكل (11-13) : رسم تخطيطى يوضح تركيب طبقات التتراهيدرا والأوكتاهيدرا فى معادن الطين 2:1 (فيرميكيوليت وميكا) ومعادن الطين 2:1:1 (كلوريت) .

مجموعة الإيليت (Illite Group)

ويطلق على هذه المجموعة إسم الميكا المتأدرته Hydromica وذلك لأنها تكونت نتيجة عملية التجويه المستمرة للميكا الأولية الموجودة فى الصخور النارية حيث

تتكون ميكا غير منتظمة البناء نتيجة لفقد البوتاسيوم من أطراف الميكا ودخول الكالسيوم والماغنسيوم مع جزيئات الماء بدلا منه مما يؤدى إلى تمدد أطراف البلورة فقط مع بقاء الجزء الأكبر منها فى صورة منضغطة (شكل 11-13) .

ينشط التفاعل ويتجه إلى اليمين إذا إنخفضت نسبة البوتاسيوم فى المحلول الخارجى مما يؤدى إلى زيادة خروج البوتاسيوم من الميكا ويتجه التفاعل إلى اليسار بإرتفاع نسبة البوتاسيوم فى التربة مع الجفاف ويحتوى الإليت على نسبة من البوتاسيوم تتراوح بين 5-8% ومعادن الإليت عموما تكون ثنائية الأكتاهيدرا .

وتتميز معادن الإليت بالآتى :

- معادن غير متمددة نظرا لوجود البوتاسيوم بين الطبقات مما يؤدى إلى مسك الطبقات بشدة أكبر من المونتموريللونيت .
- ينفرد البوتاسيوم المثبت بين طبقات هذا المعدن ببطء ويشكل مصدرا للبوتاسيوم.
- السعة التبادلية تتراوح بين $20\text{-}40\ cmol\ kg^{-1}$.

معادن الطين ٢ : ١ : ١ (مجموعة الكلوريت)

2 : 1 : 1 Clays (Chlorite Group)

ويطلق على هذه المعادن إسم معادن الطين 1 : 1 : 2 لأنها عبارة عن معادن طين من النوع 1 : 2 مع وجود طبقة من الهيدروكسيد بين الوحدات وهذه الطبقة إما أن تكون على شكل جبسيت Gibbsite [Al (OH)x] أو على شكل بروسيت [Mg (OH)x] حيث x أقل من 0.03 أى أن الكلوريت يمكن تصوره بنائيا على أنه يتكون من طبقات مونتموريللونيت تدمص على سطوحها طبقة من البروسيت الموجبة الشحنة نتيجة لحدوث إحلال بها حيث يحل الألومنيوم محل بعض الماغنسيوم وتتكون على وحدة البروسيت شحنة موجبة تعادل الشحنة السالبة على المونتموريللونيت ولذلك فإن معدن الكلوريت يتميز بسعة تبادلية منخفضة (شكل 11-13). والتركيب الكيميائى العام لنصف الخلية للنوع ثنائى الأكتاهيدرا يكون :

$(Mg_{0.3}\ Al_{1.9}\ OH_6)$	$(Si_{3.9}\ Al_{0.1})$	$(Al_{1.8}\ Mg_{0.2})$	$O_{10}\ (OH, F)_2$
Interlayer space	Tetrahedral Sheet	Octahedral Sheet	Anions

ويمكن أن يكون الكلوريت من النوع ثلاثى الأوكتاهيدرا فى كلا من طبقتى الأوكتاهيدرا (أوكتاهيدرا معدن 2 : 1 ، أوكتاهيدرا البروسيت) ويطلق على ذلك إسم Tri, trioctahedral chlorite أما إذا كان الكلوريت ثنائى الأوكتاهيدرا فى طبقة الأوكتاهيدرا الخاصة بمعدن 1 : 2 وثلاثى فى طبقة البروسيت فيطلق عليه Di, trioctahedral chlorite .

وتتميز معادن الكلوريت بالآتى :

- سعة تبادلية منخفضة ($10\text{-}40\ cmol\ kg^{-1}$) .
- يحدث الإحلال المتماثل فى كل من طبقتى الأوكتاهيدرا والتتراهيدرا .

معادن الطين غير المتبلورة (الأمورفيه)
Non-crystalline (amorphous) Clay Minerals

تسمى معادن الطين غير المتبلورة بإسم الألوفان Allophane وهى تتكون أساسا من الأكاسيد المتأدرته للألومنيوم والحديد والسليكون (Hydrated Al_2O_3, Fe_2O_3 and SiO_2) . وعادة ماتتواجد كميات بسيطة من Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^+, Na^+ وتتراوح نسبة SiO_2 / Al_2O_3 فى الألوفانات بين 2 - 0.84. وعادة مايتواجد الألومنيوم فى الألوفان فى إرتباط تتراهيدرى أو أوكتاهيدرى وقد لوحظ وجود الألوفان فى الأتربة المتكونة من الغبار البركانى ولكنه قد يتواجد فى الجزء الطينى للعديد من الأتربة الأخرى . ويبدى الألوفان سعة تبادلية مرتفعة فى المحاليل المتعادلة أو القاعدية الضعيفة ولكن ذلك يتوقف بدرجة كبيرة على الـ pH ودرجة التأدرت .

ثانيا : مجموعة المعادن الكربوناتية Carbonate Minerals Group

وهى مجموعة أملاح حمض الكربونيك وتشمل عدداً كبيراً من المعادن شائعة الإنتشار بالقشرة الأرضية مثل الكالسيت Calcite والأراجونيت Aragonite والدولوميت Dolomite والأنكيريت Ankerite وهو عبارة عن دولوميت حدث به إحلال لبعض الكالسيوم بكاتيون الحديد الثنائى والسيدريت Siderite وهو كربونات حديدوز $FeCO_3$. وفيما يلى أهم معادن الكربونات الداخلة فى تكوين التربة :

١- الكالسيت Calcite

وهو كربونات كالسيوم $CaCO_3$ حاصل إذابته 3.98×10^{-9} وكثافته 2.71 جم/سم٣ وهو معدن واسع الإنتشار بالقشرة الأرضية ويوجد فى الطبيعة فى صورة كتل كبيرة صلبة مثل الحجر الجيرى أو هشة مثل الطباشير أو كمادة لاحمة لبعض الصخور الرسوبية وهو يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك المخفف البارد محدثاً فوراناً لخروج ثانى أكسيد الكربون .

٢- الأراجونيت Aragonite

وهو أيضا كربونات كالسيوم مثل الكالسيت ولكنه يختلف عنه فى النظام البلورى وتسمى ظاهرة وجود معادن لها نفس التركيب الكيميائى مع الإختلاف فى النظام البلورى بظاهرة Diamorphism وحاصل إذابة الأراجونيت أقل من الكالسيت 5.62×10^{-10} وكثافته 2.93 جم / سم٣ وهو أقل كثيراً فى الإنتشار من الكالسيت ويتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك المخفف البارد .

٣- الدولوميت Dolomite

وهو عبارة عن كربونات كالسيوم وماغنسيوم $Ca, Mg (CO_3)_2$ ويتكون نتيجة إحلال الماغنسيوم محل جزء من الكالسيوم فى التركيب البلورى (Dolomitization) بنسبة 54.4% كالسيوم ، 45.6% ماغنسيوم كما فى المعادلة التالية :

$$2\,CaCO_3 + Mg\,SO_4 \rightarrow CaCO_3 \,.\, MgCO_3 + CaSO_4$$

وحاصل ذوبان الدولوميت أقل كثيرا من الكالسيت (10^{-17}) وكثافته 2.85 جم/سم٣ وهو معدن واسع الإنتشار بالصخور الرسوبية وأغلب معادن الدولوميت توجد مختلطة مع الكالسيت ويمكن تحويل الدولوميت إلى كالسيت ثانية فى حالة وجود كبريتات الكالسيوم كما فى التفاعل التالى :

$$Ca, Mg\,(CO_3)_2 + Ca\,SO_4 \rightarrow 2\,CaCO_3 + Mg\,SO_4$$

ثالثا : مجموعة معادن الأملاح التبخيرية التراكمية Evaporites

وهذه المجموعة من المعادن تشمل الأملاح شديدة الذوبان مثل الهاليت (Nacl) Halite والسهلة الذوبان نوعاً مثل الجبس والبوراكس ، وتراكم أو إزالة هذه الأملاح

من التربة يتوقف على معدل الغسيل Leaching فتراكمها بالتربة يكـون نتيجـة زيـادة معدل التبخير عن معدل المطر أو الغسيل ومن أهم معادن مجموعة الأمـلاح التبخيريـة مايلى :

١- الجبس Gypsum

وهو عبارة عن كبريتـات كالسـيوم مـائية $CaSO_4 . 2H_2O$ ودرجـة ذوبانـه 2.41 جم/لتر وكثافته 2.32 جم/سم^3 . ويوجد الجبس بمناطق كثـيرة فـى مصـر مثـل الصحـراء الشـرقية وسـاحل البحـر الأحمـر كمـا يوجـد بكميـات كبـيرة كترسـيبات متداخلة مع الحجر الجيرى أو الحجر الرملى أو الطين وقد وجد أن نسـبة الجبـس قـد تزيد على 90% فى بعض الأراضى البحرية مثل بعض مناطق الساحل الشمالى بمصر.

٢- الهاليت Halite

وهو عبارة عن كلوريد صوديوم NaCl ذو درجة ذوبان 2640 جم/لتر ، كثافـة 2.16 جم/سم^3 وهو أكثر المعـادن الذائبـة شـيوعاً فـى المـاء ويوجـد متداخـلا مـع أو مغطى لطبقات الطفل ، الحجر الجيرى ، الدولوميت والجبس .

٣- البوراكس Borax

وهو عبارة عن بورات الصوديوم المائية $NaB_4O_5(OH)_4 . 8H_2O$ وهو المصـدر الرئيسى للبورون ويوجد مصاحبا للهاليت أو الكبريتات أو الكربونات أو مـع الطـين فى البحيرات الجافة .

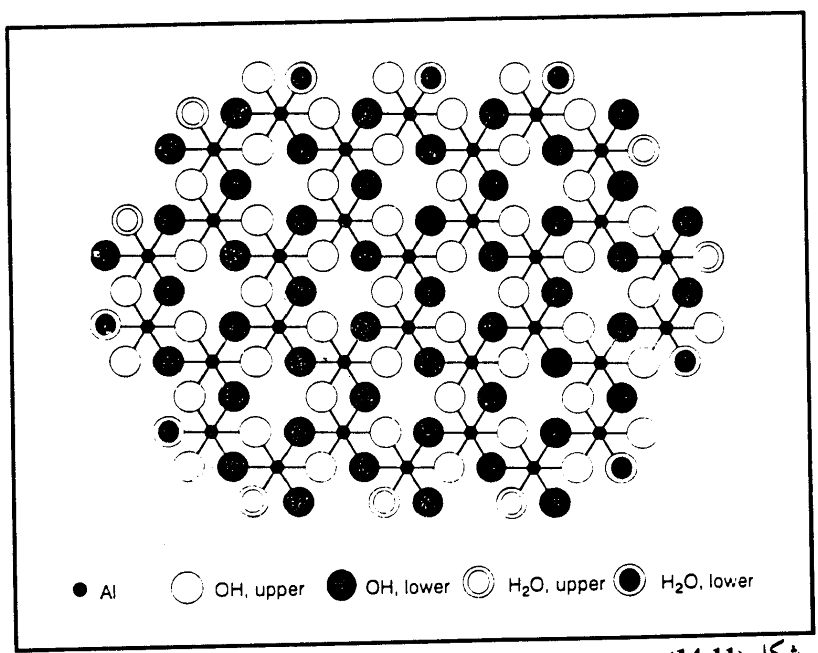
رابعا : مجموعة الأكاسيد والهيدروكسيدات والأوكسىهيدروكسيدات
Oxides and Hydroxides and Oxyhdroxides

تلعب أكاسيد الحديد والألومنيوم والمنجنيز دوراً هاما فى كيمياء التربة . حيـث يكون لهم تأثير كبير فى العديد من العمليات الكيميائية وذلك لكـبر السـطح النوعـى الخاص بهم .

ولفظ أكاسيد هو لفظ عام يطلق علـى هيدروكسـيدات وأوكسىهيدروكسـيد وأكاسيد الفلزات . وهذه الأكاسـيد تتواجـد فـى الطبيعـة إمـا علـى صـورة متبلـورة Discrete crystals أو أغلفة لمعادن الطين والمواد العضوية .

١ - أكاسيد الألومنيوم

ينتشر العديد من أكاسيد الألومنيوم فى الطبيعة ونجد أن الأوكسىهيدروكسيدات تكون أقل إنتشاراً من الهيدروكسيدات . ويعتبر الجبسيت [هيدروكسيد ألومنيوم $Al(OH)_3$] هو أكثر معادن الألومنيوم إنتشاراً فى التربة خاصة تحت الظروف الإستوائية يليه بوهيميت Bohemite (أوكسىهيدروكسيد الألومنيوم AlOOH γ) ثم الدياسبور Diaspor (أوكسىهيدروكسيد الألومنيوم AlOOH - ∝) وقد تتواجد أكاسيد الألومنيوم غير المتأدرته فى بعض الصخور النارية والمتحولة ويوضح الشكل (11-14) التركيب البنائى لمعدن الجبسيت Gibbsite حيث نجد أن ذرات الألومنيوم ترتبط بأيونات الهيدروكسيل فى شكل سداسى .



شكل (11-14) :

رسم توضيحى يبين وحدة البناء فى معدن الجبسيت Gibbsite ونجد أن أيونات الهيدروكسيل OH الموجودة فى الحواف والغير مرتبطة بأيونات أخرى يمكن أن تكتسب بروتون نتيجة لتغير درجة الـ pH لتكون جزىء الماء .

وتتواجد أيونات الهيدروكسيل فى مستويين أحدهما علوى والآخر سفلى وبين هذين المستويين تتواجد ذرة الألومنيوم . ويلاحظ أن إرتباط الألومنيوم بأيونات الهيدروكسيل تختلف فى داخل البلورة عنه فى الحواف ففى داخل البلورة ترتبط ذرة الألومنيوم بعدد 6 أيونات هيدروكسل ويشاركها فى ذلك ثلاث ذرات أخرى من الألومنيوم وتعمل أيونات الهيدروكسيل ككوبرى يربط بين ذرتين من الألومنيوم أما فى الحواف فنجد أن كل ذرة ألومنيوم ترتبط مع 4 ذرات هيدروكسيل ويشاركها فى ذلك ذرتين أخريتين من الألومنيوم أما موقعى التبادل المتبقيين فيتم شغل أحدهما بأيون OH^- والآخر بجزىء H_2O وكلا هذين الموقعين لايعملان ككوبرى يربط بين ذرات الألومنيوم.

٢- أكاسيد الحديد Iron Oxides

تعتبر أكاسيد الحديد أكثر معادن هذه المجموعة شيوعا بالقشرة الأرضية وفى معادن أكاسيد الحديد نجد أن كل ذرة حديد تحاط بعدد 6 ذرات أكسيجين أو هيدروكسيل على شكل أوكتاهيدرا . ويمكن إحلال الألومنيوم (Al^{-3}) والكروم (Cr^{3-}) محل الحديد فى التركيب البلورى بواسطة الإحلال المتماثل . وقد يتواجد بعض الكاتيونات الأخرى فى التركيب البنائى لمعادن الحديد مثل Zn, Co, Cu, Ti, Ni ويعتبر معدن الجيوثيت Geothite هو أكثر معادن أكاسيد الحديد إنتشاراً وثباتاً فى التربة ويليه معدن الهيماتيت Hematite وينتشر على وجه الخصوص فى الأتربة التى تعرضت لعمليات تجويه شديدة وتتميز هذه الأتربة بوجود اللون الأحمر .

أيضا يتواجد معدن ماجيميت Maghemite فى التربة ويكثر إنتشاره فى أراضى المناطق الإستوائية .

٣- أكاسيد المنجنيز

وهذه الأكاسيد شائعة الوجود فى التربة حيث تعتبر مصدر للمنجنيز كعنصرأساسى لنمو النبات كما يمكن لهذه الأكاسيد أن تدمص العناصر الثقيلة وأن تعمل على أكسدة بعض الفلزات وتحويلها من الصورة المختزلة مثل Cr^{+3}, As^{3+} إلى الصورة المؤكسدة . وتتواجد أكاسيد المنجنيز فى صورة أغلفة على حبيبات التربة المختلفة وغالبية هذه الأكاسيد يكون على صورة أمورفيه وأكثرها شيوعا هو بيرنيسيت Birnessite .

خامسا : مجموعة معادن الفوسفات Phosphate Minerals Group

تشمل مجموعة من المعادن أهمها الأباتيت Apatite $Ca_5(PO_4)_3Fe_2Cl_2(OH)_5$ الذى يعتبر أغنى المصادر الحاملة للفوسفور بالقشرة الأرضية ويوجد بالطبيعة فى صورة كتل بلورية من صخر الفوسفات كما قد يوجد كترسيبات بحرية ويعتبر المغرب ثانى مصدر له فى العالم وفى جمهورية مصر العربية يوجد الفوسفات فى مناطق كثيرة مثل سفاجة بالقصير والمحامير وهضبة القرن قرب الواحات الداخلة والخارجة .

السطح النوعى لمعادن التربة Specific surface of soil minerals

ترجع مساحة السطوح للأتربة المعدنية إلى معادن الطين لذلك فإن خواص التربة الكيميائية والفيزيائية تعتمد إعتماداً كبيرا على مساحة السطح ويعرف السطح النوعى Specific surface للمعدن بأنه مساحة السطح لكل وحدة وزن من المعدن ($m^2\ kg^{-1}$) ويتوقف مساحة السطح للمعدن على كل من مساحة السطح الخارجى والداخلى .

جدول (3-11): السطح النوعى لبعض المعادن الشائعة فى التربة

Mineral	Specific surface ($m^2\ g^{-1}$)
Kaolinite	7 - 30
Halloysite	10 - 45
Pyrophyllite	65 - 80
Talc	65 - 80
Montmorillonite	600 - 800
Dioctahedral vermiculite	50 - 800
Trioctahedral vermiculite	600 - 800
Muscovite	60 - 100
Biotite	40 - 100
Chlorite	25 - 150
Allophane	100 - 800

مصادر الشحن السالبة فى معادن الطين
Origin of negative charge in soil clays

تتكون الشحنات على سطوح معادن الطين وذلك كنتيجة للإحلال المتماثل Isomorphic substitution وتأين مجاميع الهيدروكسيد على حواف المعادن وهذين العاملين هما أيضا المسئولين عن الشحنات الدائمة والشحنات المتوقفة على درجة حموضة التربة .

(١) الإحلال المتماثل Isomorphous substitution

لقد سبق توضيح مايقصد بالإحلال المتماثل وهو بإختصار إكتساب البلورات شحنات سالبة عندما يحل أيون موجب منخفض التكافؤ محل أيون مرتفع التكافؤ فى التركيب البلورى على أن يكون حجم الأيون الذى يقوم بالإحلال مقاربا لحجم الأيون الأصلى المستبدل وذلك فى حدود 15% وأن يكون الإحلال فى التكافؤ بمقدار وحدة واحدة فقط (Paton, 1978) وتعتبر الشحنة الناتجة من هذا النوع هى شحنة دائمة لاتتغير بتغير درجة حموضة التربة .

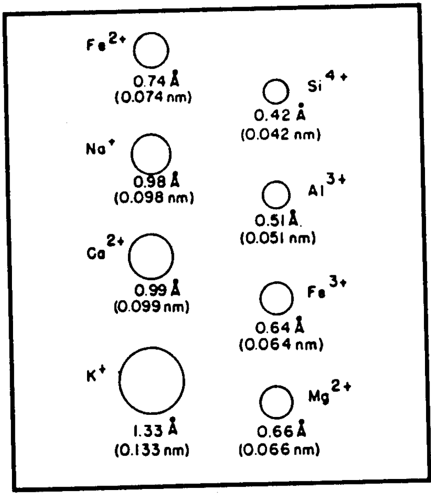
ومثال ذلك هو إستبدال أيون السليكون فى التتراهيدرون بأيون ذو حجم مناسب غالبا مايكون الألونيوم Al وأيضا فى طبقة الأوكتاهيدرا يمكن أن يحل المغنسيوم محل الألونيوم بدون أن يحدث تغيير فى تركيب البلورة .

(٢) إنحلال مجاميع الهيدروكسيل
Dissociation of Exposed Hydroxyl Groups

وجود مجاميع الهيدروكسيل (OH) على الحواف البلورية يمكن أن يكون مصدراً للشحن السالبة فى معادن الطين وخاصة عند درجات pH العالية حيث ينحل الهيدروجين (H) فى مجاميع الهيدروكسيل (OH) وبذلك يصبح معدن الطين محملا بشحن سالبة مصدرها الأكسيجين فى مجاميع الهيدروكسيل أما فى الوسط الحامضى فنجد أن مجاميع الهيدروكسيل يمكن أن تتفاعل كقواعد عن طريق إكتساب

بروتونات وبالتالى تكتسب شحن موجبة أى أن نوع الشحنة يتوقف على درجة حموضة الوسط ولذلك يطلق على مثل هذه الشحنات أسم الشحنات المتوقفة على درجة حموضة الوسط pH dependent charge وتفاعلات الإنحلال وإكتساب البروتونات يمكن توضيحها فى التفاعلات التالية :

Alkaline media	$- Si - OH + OH^-$	$\rightleftarrows$	$Si - O^- + H_2O$
Acid media	$- Al - OH + H^+$	$\rightleftarrows$	$- Al - OH_2^+$



شكل (15-11) :
أنصاف أقطار بعض الكاتيونات الشائعة الوجود فى الأراضى

وتعتبر أيونات H^+ ، OH^- والمسببة لتطور الشحنات على السطح هى أيضا المسئولة عن الجهد الكهربائى للسطوح Electric surface potential ولذلك يطلق على هذه الأيونات أسم الأيونات المحددة للجهد وتصبح قيمة الشحنة السطحية صفر عند تساوى كثافة الشحنات السطحية الموجبة مع كثافة الشحنات السطحية

السالبة . ويطلق على درجة الحموضة التى عندها يحدث تساوى للشحنات السالبة والموجبة فى التربة أسم Isoelectric Point أو Zero Point of Charge وتعتبر الروابط المكسورة على حواف المعدن هى المصدر الأساسى للسعة التبادلية الكاتيونية لمعادن الطين 1 : 1 مثل الكاذرليت والهالويسيت وأيضا لأكاسيد الحديد والألمونيوم.

السعة التبادلية الكاتيونية لمعادن التربة الثانوية

Cation Exchange Capacities of Secondary Soil Minerals

يتم تعادل الشحنات السالبة الموجودة على المعادن وذلك بواسطة شحن موجبة فى صورة كاتيونات متبادلة . وظاهرة التبادل الكاتيونى والأيونى فى التربة سوف يتم مناقشتها فيما بعد ونجد أنه من المفيد أن نناقش هنا السعة التبادلية الكاتيونية لبعض المعادن الثانوية الهامة فى التربة حيث أن جزء كبير من السعة التبادلية الكاتيونية للتربة يرجع أساسا إلى المعادن الثانوية فيها . والسعة التبادلية الكاتيونية للمعادن لها أهمية كبرى فى إدمصاص المواد العضوية وغير العضوية .

يوضح الجدول (4-11) السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) لبعض المعادن الثانوية الهامة فى التربة . ونجد أن CEC للكاؤولينيت تتراوح بين $2\text{-}15\ cmol\ kg^{-1}$ وهذا يتوقف على درجة نقاء المعدن ودرجة ألـ pH التى يتم قياس السعة التبادلية الكاتيونية عندها . فإذا كانت درجة النقاء كبيرة نجد أن CEC يجب أن تكون قليلة $< 2\ cmol\ kg^{-1}$ وذلك لأن الإحلال المتماثل فى هذا المعدن قليلة . وغالبا مايتواجد بعض المعادن الأخرى مثل سمكتيت والميكا وفيرميكيوليت مع معدن الكاؤولينيت بنسبة تتراوح من 0.1-10% . والسبب الآخر لإرتفاع CEC لمعدن الكاؤولينيت هو وجود شحن سالبة ناتجة من وجود مجاميع AlOH على حواف المعدن .

وأيضا معدن الهالويسيت يمكن أن تكون السعة التبادلية الكاتيونية المقدرة أعلى مما هو متوقع على الرغم من عدم وجود الإحلال المتماثل فى هذا المعدن ويرجع ذلك أحيانا إلى وجود الألوفانات Allophane (له CEC عالى) مصاحبا للهالويسيت أو وجود كميات كبيرة من أيونات البوتاسيوم والأمونيوم NH_4^+ المتبادلة بين طبقات المعدن.

والسعة التبادلية الكاتيونية لمعادن الموتيموريللونيت تكون عالية نتيجة للإحلال المتماثل فى هذا المعدن وأيضا لمقدرة طبقاته على التمدد بما يسمح بمزيد من التبادل الأيونى .

أما السعة التبادلية الكاتيونية لمعادن الميكا فنجد أنها منخفضة وذلك نتيجة وجود البوتاسيوم المتبادل بين الطبقات مما يؤدى إلى معادلة بعض الشحنات السالبة فى المعدن. أيضا يتميز معدن الكلوريت Chlorite بإنخفاض السعة التبادلية الكاتيونية نتيجة لوجود طبقة البروسيت Mg (OH)x التى تحمل شحنة موجبة . أما الألوفان Allophane فيمتاز بإرتفاع سعة التبادلية الكاتيونية نتيجة إحلال Al^{+3} محل Si^{4} ووجود العديد من الحواف المكسورة .

جدول (11-4): السعة التبادلية الكاتيونية لبعض معادن التربة الثانوية

المعدن	السعة التبادلية الكاتيونية (cmol / kg)
كاؤولينيت	2 - 15
هالويسيت	10 - 40
مونتموريللونيت	80 - 150
تلك	< 1
فيرميكيوليت ثنائى الأوكتاهيدرا	10 - 150
فيرميكيوليت ثلاثى الأوكتاهيدرا	100 - 200
كلوريت	10 - 40
الوفان	5 - 350

مراجع الفصل الحادى عشر

Dixon, J.B. and S.B. Weed (1989). Minerals in Soil Environments. SSSA Book Ser. No.1. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.

Foth, H.D. (1990). Fundamental of Soil Sciences. Jhon Wiley & Sons Inc. New York.

Grim, R.E. (1968). Clay Mineralogy. McGraw - Hill, New York.

Pauling, L. (1940). The Nature of the Chemical Bond. Cornell Univ. Press, Ithaca, New York.

Sparks, D.L. (1995). Environmental Soil Chemistry. Academic Press, New York.

Tan, K.H. (1982). Principles of Soil Chemistry. Marcel Dekker, Inc. New York.

Troeh, F.R. and L.M. Thompson (1993). Soils and Soil Fertility. Oxford Univ. Press. New York.

White, R.E. (1987). Introduction to the Principles and Practices of Soil Science. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London.

الخطيب ، السيد أحمد (1998) . الكيمياء البيئيه للأراضى . منشأة المعارف – الإسكندرية – جمهورية مصر العربية .



الفصل الثانى عشر

الخواص الكيميائية لغرويات التربة

Chemical Properties of Soil Colloides

- التبادل الكاتيونى
- التبادل الآنيونى
- تفاعل التربة (pH)
- السعة التنظيمية للتربة



12

الخــواص الكيمــيائية لغــرويات التربة

Chemical Properties of Soil Colloides

غرويات التربة هى التـى تحـدد الخـواص الكيميائيـة للتربـة . ويعـرف الغـروى Colloid بأنه أى مادة صلبة ذات حجم صغير جداً ولذلك فإن خواص السطوح بهـا تكون أكثر أهمية من وزنها وأغلب الغرويات لاتتعدى أقطارها بضعـة ميكرومـترات (Microns) ونظراً لكبر نسبة السطح إلى الكتلة فى غرويات التربة Soil colloids نجد أن العديد من التفاعلات الكيميائية تحدث على سطوحها وهذه التفاعلات هـى التـى تحدد خواص التربة . وغرويات التربة السائدة تنحصر فـى معـادن الطـين والهيومـس Humus . ويؤثر الطين والهيومس على الخواص الكيميائية للتربة بدرجـة أكـبر بكثـير من حبيبات الرمل والسلت وقد سبق وأن تناولنا بالشرح فى فصول سـابقة الـتركيب المعدنى للطين وكذلك الغرويات العضوية (الهيومس) .

التبادل الكاتيونى Cation Exchange

يعرف التبـادل الكـاتيونى بأنـه التبـادل الـذى يحـدث بـين كـاتيون فـى المحلـول وكاتيون آخر موجود على سطح يحمل شحنة سالبة مثل سطوح غرويـات الطـين أو الغرويات العضوية .

ميكانيكية التبادل الكاتيونى The Mechanisms of Cation Exchange

تجذب السطوح الغروية المحملة بشحنة ما أيونـات مخالفـة لشـحنتها مـن المحلـول الأرضى . ولما كانت الشحنة السائدة على غرويات التربة هى الشحنة السالبة لذلـك فإن سطوح هذه الغرويات تـجذب الأيونات موجبة الشحنة والموجـودة فى المحـلـول

الأرضى. ولتوضيح التبادل الكاتيونى على شكل معادلة فسوف نعطى غرويات التربة سواء طينية أو هيومس رمز مستطيل وهذا المستطيل يمثل سطوح الغرويات التى تحمل شحنات سالبة . هذه الشحنات السالبة تجذب أيونات موجبة الشحنة (الصوديوم) لمعادلة الشحنات السالبة . وعند وضع الغرويات وماتحمله من كاتيونات الصوديوم (معقد التبادل) فى محلول يحتوى على كلوريد بوتاسيوم (KCl) يحدث تفاعل التبادل الكاتيونى التالى :

Na^+ Na^+ [غروى التربة] Na^+	+ 3KCl	$\rightleftarrows$	K^+ K^+ [غروى التربة] K	+ 3NaCl
	in solution			in solution

يحل البوتاسيوم الموجود فى المحلول محل الصوديوم المدمص على سطح غرويات التربة أى يحدث تبادل بين البوتاسيوم الموجود فى المحلول والصوديوم الموجود على سطوح غرويات التربة وينتج عن ذلك أن غروى التربة يصبح محملا بكاتيونات البوتاسيوم ويتحول المحلول إلى كلوريد صوديوم ويتم التبادل الكاتيونى على أساس التكافؤ الكيميائى أى أن كاتيون واحد أحادى التكافؤ يحل محل كاتيون آخر أحادى التكافؤ أو إثنين كاتيون أحادى التكافؤ (K^+) يمكن أن يتبادلا مع كاتيون واحد ثنائى التكافؤ (Ca^{2+}) .

وكثير من الكاتيونات المدمصة على سطوح غرويات التربة يكون من الصعب إزالتها بالغسيل بالماء ولكن من السهل حدوث تبادل بينهم وبين كاتيونات أخرى موجودة فى المحلول الأرضى وعملية التبادل بين الكاتيونات يطلق عليها التبادل الكاتيونى Cation Exchange .

أنواع وكميات الكاتيونات المتبادلة

Kinds and Amounts of Exchangeable Cations

الكاتيونات التى تتواجد بكميات كبيرة على مواقع التبادل فى التربة هى الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والألومنيوم والهيدروجين وتتغير نسب هذه الكاتيونات على معقد التبادل تبعا لما يضاف للتربة من أسمدة أو جبس وأيضا

لما يفقد من التربة سواء بالغسيل أو نتيجة لإمتصاص هذه الكاتيونات بواسطة النبات .

وتتوقف كميات وأنواع الكاتيونات المدمصة على سطوح غرويات التربة على تركيز الكاتيونات فى المحلول وأيضا على قوة جذب سطح الغروى لهذه الكاتيونات فكلما زاد تركيز كاتيون ما فى المحلول الأرضى كلما زادت الفرصة لإدمصاصه .

ويتوقف قوة جذب مواقع الإدمصاص للكاتيونات على تكافؤ الكاتيون وأيضا على قطر الكاتيون المتأدرت . فبالنسبة للكاتيونات مختلفة التكافؤ نجد أن الكاتيونات ثنائية التكافؤ تنجذب لسطوح غرويات التربة بدرجة أكبر من الكاتيونات أحادية التكافؤ أى أن الكاتيونات الثنائية تدمص بدرجة أكبر من الكاتيونات الأحادية لأن طاقة الإدمصاص للكاتيونات الثنائية تعادل ضعف طاقة الإدمصاص للكاتيونات أحادية التكافؤ .

أما بالنسبة للكاتيونات ذات التكافؤ الواحد فنجد أنه كلما قل قطر الكاتيون المتأدرت كلما زاد إدمصاصه وذلك لأن صغر الحجم يعطى فرصة للكاتيون للحركة والإقتراب بدرجة أكبر لمواقع الإدمصاص . والجدول رقم (12-1) يوضح قيم الأقطار المتأدرتة وغير المتأدرتة لأربعة كاتيونات مختلفة أحادية التكافؤ ونجد أن قوة الإدمصاص تكون بالترتيب التالى :

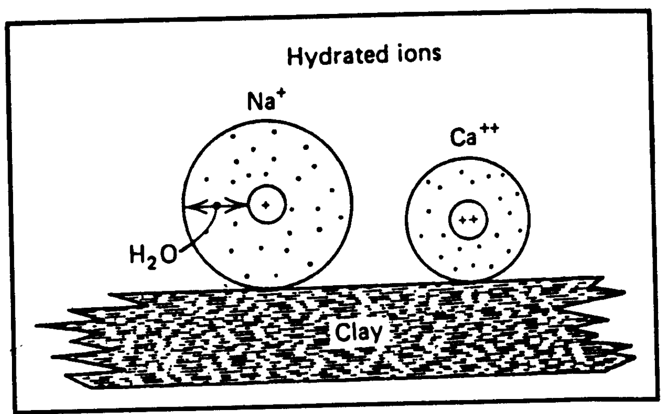
Rb > K > Na > Li

جدول (12-1) : أقطار عدة أيونات أحادية التكافؤ وكفاءة التبادل

الأيـون	قطر الأيـون Nanometers		ترتيب طاقة الإدمصاص
	غير المتأدرت	المتأدرت	
الليثيوم Li	0.078	1.003	4 *th*
الصوديوم Na	0.098	0.790	3 *rd*
البوتاسيوم K	0.133	0.532	2 *nd*
الريبديوم Rb	0.149	0.509	1 *st*

ويلاحظ من الجدول (12-1) وجود علاقة عكسية بين القطر المتأدرت والقطر غير المتأدرت حيث أن جزيئات الماء تستطيع الإقتراب بدرجة أكبر من شحنة الأيون ذو القطر الأصغر لتواجد الشحنة فى مركز الأيون ولذلك فإن جزيئات الماء تنجذب بقوة أكبر للأيونات ذات الأقطار الصغيرة فتزداد عدد جزيئات الماء حول الأيونات صغيرة الحجم ويزيد تبعا لذلك القطر المتأدرت . أما فى حالة الكاتيونات المختلفة التكافؤ مثل الصوديوم (Na^+) والكالسيوم (Ca^{2+}) (شكل 12-1) نجد أن الكالسيوم يدمص بقوة أكبر من الصوديوم وذلك لأن (١) تكافؤه مثالى (٢) قطره المتأدرت أصغر .

أيضا يدمص الكالسيوم بقوة أكبر من الماغنسيوم والبوتاسيوم Ca > Mg > K > Na وهذا يفسر وجود الكالسيوم على مواقع التبادل فى التربة بكميات أكبر من البوتاسيوم والماغنسيوم والصوديوم .



شكل (12-1): أيونات الكالسيوم تدمص بدرجة أكبر من الصوديوم على سطوح الطين لصغر قطره المتأدرت ولتكافؤه الأعلى (Foth, 1990)

أهمية التبادل الكاتيونى The Importance of Cation Exchange

يعتبر التبادل الكاتيونى تفاعل هام جدا لما له من تأثير على خصوبة التربة وعلى قيم pH التربة والخواص الفيزيائية للتربة كما أنه يستخدم كميكانيكية لتنقية المياه. يحصل النبات على كمية كبيرة من العناصر الغذائية مثل الكالسيوم والماغنسيوم

والبوتاسيوم من الصور المتبادلة . والحقيقة أن إختبار خصوبة التربة للتنبؤ بمقدرة التربة على إمداد النبات بالبوتاسيوم هو عبارة عن قياس البوتاسيوم المتبادل فى التربة. ولذلك فإن التبادل الكاتيونى هام جدا فى التربة للإعتبرات التالية :

أ) البوتاسيوم والماغنسيوم المتبادلين هما المصدران الأساسيان لمد النبات بإحتياجاته من البوتاسيوم والماغنسيوم .

ب) مواقع التبادل الكاتيونى فى التربة تحمل أيونات الكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والأمونيوم وبالتالى تقلل من فقدهم من التربة بواسطة الغسيل .

ج) مواقع التبادل الكاتيونى تحمل أيونات البوتاسيوم والأمونيوم عند إضافتهما للتربة كسماد وتقلل من حركتهما وبالتالى فقدهما .

د) مواقع التبادل الكاتيونى تدمص العديد من العناصر الثقيلة مثل النيكل والرصاص والتى تكون موجودة فى مياه الصرف الصحى وبالتالى تعمل على تنقية هذه المياه التى لاتلبث أن تصرف إلى المياه الجوفية وبالتالى يمنع التبادل الكاتيونى تلوث المياه الجوفية بهذه العناصر .

السعة التبادلية الكاتيونية **Cation Exchange Capacity (CEC)**

هى كمية الكاتيونات المتبادلة على وحدة وزن من التربة الجافة معبرا عنها بالسنتيمول (+) centimoles لكل كيلوجرام تربة [cmol (+) / kg] ويستخدم تعبير centimoles لأن عدد مواقع الشحن السالبة على عينة التربة لايتغير بينما وزن العناصر التى تدمص على هذه المواقع قد يتغير . أى أن واحد سنتيمول centimole من الكاتيون χ يحتل نفس عدد مواقع التبادل التى يحتلها واحد سنتيمول من الكاتيون Y بينما لو أستخدمنا وحدات الأوزان الكيميائية فإن 1جم من الكاتيون χ لايحتل نفس عدد مواقع التبادل التى يحتلها ١ جم من الكاتيون Y لذلك فإن التعبير عن السعة التبادلية الكاتيونية بالسنتيمول يمثل قيمة CEC واحدة بغض النظر عن نوع الكاتيونات المتبادلة.

Units for Cation Exchange Capacity وحـدات السـعة التبادلية الكاتيونية	
الوحـدات القـديـمـة	**الوحـدات الحـديثة**
5 meq / 100g	= 5 cmol (+) kg^{-1} of soil (= centimoles) = 50 mmol (+) kg^{-1} of soil (= millimoles) = 50 mmol (½ Ca^{2+}) kg^{-1} of soil (if Ca used) = 50 mmol (⅓ Al^{3+} kg^{-1} of soil (if Al used) = 50 mmol c kg^{-1} (where "C" = one charge)

وتختلف السعة التبادلية الكاتيونية من تربة إلى أخرى وذلـك يتوقـف علـى نـوع معادن الطين الموجودة وكمية الطين فى التربة والجدول (12-2) يوضح السعة التبادلية الكاتيونية CEC لبعض أنواع الأتربة المختلفة . ويلاحظ من الجدول (12-2) أن قـوام التربة له تأثيركبير على السـعة التبادليـة الكاتيونيـة للتربـة حيـث نجـد أن CEC للتربـة الرملية أقل بكثير جدا من CEC التربة الطينية .

جدول (12-2) : العلاقة العامة بين قوام التربة والسعة التبادلية الكاتيونية

السعة التبادلية الكاتيونية centimoles (+) per kg of soil	قـــوام
1 - 5	رملـية
5 - 10	رملية لوميه
5 - 15	سلتية لوميه
15 - 30	طينية لوميه
> 30	طـينية

وكمية الكاتيونات المتبادلة فى معظم الأتربة تكون كبيرة فهى تتراوح مـن عـدة مئات إلى عدة آلاف الكيلوجرامات فى الهكتار (جدول 12-3) .

جدول (3-12) : كمية الكاتيونات المتبادلة لكل 1 سنتيمول / كجم 1 centimole (+) / kg من السعة التبادلية الكاتيونية فى التربة

نوع الأيون على معقد التبادل	كجم / هكتار (عمق 30 cm)
Ca^{++}	800
Mg^{++}	480
K^{+}	1560
Na^{+}	920
H^{+}	40

وللدلالة على كبر كميات الأيونات المتبادلة على سطوح التربة فإن المثال التـالى يوضح كيفية حساب كمية الكاتيونات المتبادلة الموجودة فى التربة .

حساب الكاتيونات المتبادلة فى التربة
Calculating Exchangeable Cations in Soil

مثال : تم تحليل ثلاث عينات تربة مختلفة فى المعمل ووجد أن قيم البوتاسيوم المتبادل فى هذه الأتربة كانت كالتالى :

Soil	cmol of K / kg soil
Sandy	0.06
Sandy loam	0.22
Sandy clay loam	0.78

إحسب كمية البوتاسيوم المتبادل بالكيلوجرامات لكل هكتار فى هذه الأتربة

الحل :

(١) عادة يستخدم متوسط وزن 1 هكتار حتى عمق 30 cm وذلك لكل الأتربة

حجم واحد هكتار (عمق 30 cm) = 0.3 m x 100 m x 100 m = $3000\ m^3$

وإذا إستخدمنا متوسط الكثافة الظاهرية لكل الأتربة = $1400\ kg/m^3$

∴ وزن التربة = $1400\ kg/m^3 \times 3000\ m^3$ = 4200.000 kg تربة/هكتار (30 cm عمق)

وغالبا مايستخدم 4 مليون كجم / هكتار كمتوسط عام للأتربة

(٢) تحويل 1 centimol K^+ إلى وحدات وزن

1 cmol K^+ / kg soil = ١ مليمكافىء K / ١٠٠ جم تربة

$$= ١ \left[\frac{\text{الوزن الذرى للبوتاسيوم (جم)}}{\text{التكافــؤ}}\right] \Big/ ١٠٠ \text{ جم}$$

$$= ١ \left[\frac{٣٩}{(١)(١٠٠)}\right] = ٠,٣٩ \text{ جم } K$$

= ٣٩٠ مجم K

1 centimole of K / kg soil = 390 mg K

1 centimole of K / hectare = 390 mg K x 4000000

= 1560 kg K^+ / ha

كمية البوتاسيوم المتبادل بالكجم / هكتار (التربة الرملية Sandy soil)

$$= \frac{\text{١٥٦٠ كجم / هكتار } \times ٠,٠٦}{١}$$

= ٩٤ كجم K / هكتار

كمية البوتاسيوم المتبادل بالكجم / هكتار (التربة الرملية اللومية Sandy loam)

$$= \frac{\text{١٥٦٠ كجم / هكتار } \times ٠,٢٢}{١}$$

= ٣٤٣ كجم K / هكتار

كمية البوتاسيوم المتبادل بالكجم / هكتار (التربة الرملية الطينية اللوميـة Sandy clay loam)

$$= \frac{\text{١٥٦٠ كجم K / هكتار } \times ٠,٧٨}{١}$$

= ١٢١٧ كجم K / هكتار

السعة التبادلية الكاتيونية المتوقفة على الرقم الهيدروجينى

The pH Dependence of Cation Exchange Capacity

تتغير السعة التبادلية الكاتيونية بتغير درجة حموضة التربة . فكما ذكرنا سابقا معظم الشحن السالبة فى التربة تنتج من الإحلال المتماثل فى معادن الطين وهذه الشحن تعتبر شحن دائمة Permanent charge . أيضا وجود مجاميع الهيدروكسيل على الحواف البلورية وفى الهيومس يمكن أن يكون مصدرا للشحن السالبة فى التربة وخاصة تحت الظروف القاعدية حيث ينحل الهيدروجين فى مجاميع الهيدروكسيل (OH) ويصبح معدن الطين أو الهيومس محملا بشحنة سالبة وهذه الشحن السالبة الناتجة يمكن أن تتفاعل كمواقع تبادل .

الوسط القاعدى $R - OH + OH^- \rightleftarrows R - O^- + H_2O$

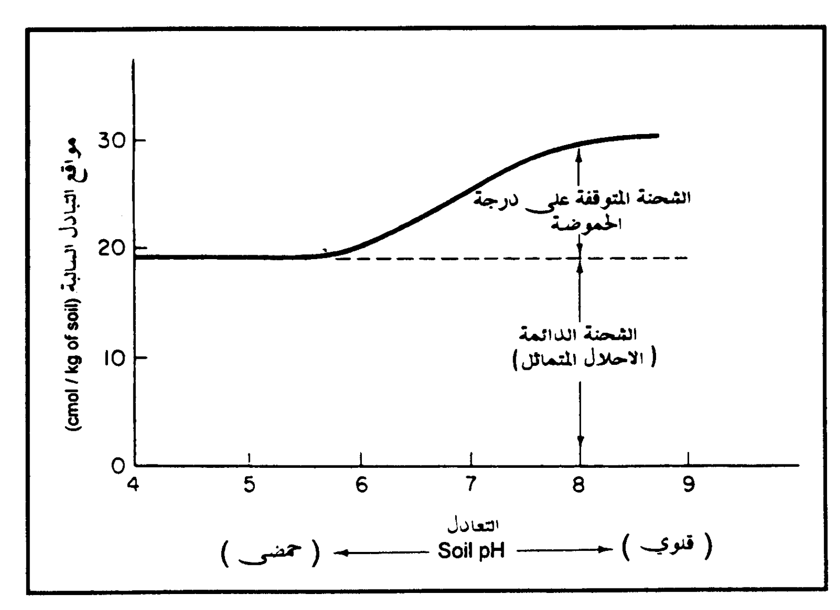
الوسط الحامضى $R - OH + H^+ \rightleftarrows R - OH_2^+$

أما فى الوسط الحامضى فيمكن لبعض مجاميع الهيدروكسيل أن تكتسب بروتونات (H^+) وبالتالى تكتسب شحنة موجبة والبعض الآخر لايحدث له أى تغير أى أنه فى الوسط الحامضى تتواجد عدد مواقع أقل للتبادل الكاتيونى . ولذلك حوالى 40% - 10 من السعة التبادلية الكاتيونية فى التربة قد يكون مصدرها المواقع المتوقفة على pH التربة علما بأن أغلب مواقع السعة التبادلية الكاتيونية للهيومس تكون متوقفة على ألـ pH وعموما إرتفاع pH التربة يؤدى إلى زيادة السعة التبادلية الكاتيونية المتوقفة على ألـ pH (شكل 12-2) .

التبادل الآنيونى Anion Exchange

تنشأ مواقع التبادل الآنيونى موجبة الشحنة على التربة نتيجة إكتساب مجاميع الهيدروكسيل الموجودة على حواف معادن الطين وعلى سطوح أكاسيد الحديد والألومنيوم بروتونات وذلك تحت الظروف الحامضية وبالتالى يمكن لهذه المواقع

موجبة الشحنة أن تجذب إليها الأيونات سالبة الشحنة . والتبادل الآنيونى هام فى التربة لأن بعض العناصر الغذائية والتى تتواجد فى التربة على صورة آنيونية مثل الفوسفات والبورون يكون مصدرها التبادل الآنيونى . وعموما تتناسب السعة التبادلية الآنيونية تناسبا عكسيا مع pH التربة وهى ذات أهمية كبيرة فى الأراضى الحامضية التى تحتوى نسبة عالية من أكاسيد الحديد أما فى الأراضى القاعدية نجد أن قيمة السعة التبادلية الآنيونية منخفض للغاية وذلك بالمقارنة مع السعة التبادلية الكاتيونية . آنيونات النترات تدمص على سطوح التربة بصورة ضعيفة جداً لذلك فإن أغلب النترات تتواجد فى المحلول الأرضى حيث تكون عرضة للفقد بالغسيل . أما آنيون الفوسفات فيدمص بقوة كبيرة على سطوح كربونات الكالسيوم فى الأراضى الجيرية مكونة مركبات فوسفات الكالسيوم أو يدمص على أكاسيد الحديد والألومنيوم فى التربة الحامضية مكونا مركبات فوسفات الحديد والألومنيوم .



شكل (2-12): علاقة مواقع التبادل الكاتيونى فى التربة بدرجة الحموضة
(Miller *et al.* 1990)

Soil Reaction   تفاعـل التربـة

تـفاعل التربة (pH) هو دلالة على حامضية أو قاعدية التربة ويقاس بوحدات ألـ pH .

تعريف ألـ pH

pH التربة هو اللوغاريتم السالب لتركيز أيونات الهيدروجين النشطة في المحلول .
فعند تأين الماء (HOH) إلى H^+ , OH^- (محلول متعادل) يصبح تركيز كل من :

H^+ , OH^- = ١٠^-٧ مول / لتر

$$HOH \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

$$\frac{[H^+][OH^-]}{[HOH]} = 10^{-14} \qquad [H^+] = [OH^-] = 1 \times 10^{-7}$$

[ ] = التركيز

$$K_W = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$$

بأخذ اللوغاريتم السالب

$$-\log K_W = -\log [H^+] - \log [OH^-] = 14$$

$$-\log = p$$

$$pk_W = pH + pOH = 14$$

وعندما تكون [H^+] أعلى من [OH^-] يصبح الوسط حامضيا

وعندما يكون [OH^-] أعلى من [H^+] يصبح الوسط قاعديا

والأتربة ذات قيم pH أكبر من ٧ تعتبر أتربة قلوية أما الأتربة ذات قيم pH أقل من 7 تعتبر حامضية في حين أن الأتربة ذات رقم pH = 7 تعتبر متعادلة. وتقسم الأتربة إلى مستويات من الحموضة والقلوية كما هو مبين بالجدول رقم (4-12). وتنتشر الأتربة الحامضية في المناطق الإستوائية والباردة بينما تنتشر الأتربة القاعدية في المناطق الجافة وشبه الجافة .

جدول رقم (4-12) : أقسام الأترية تبعاً للرقم الهيدروجيني pH (Sparks, 1994)

descriptive terms	pH range	Buffering mechanism
Extremely acid	< 4.5	Iron range (pH 2.4-3.8)
Very strongly acid	4.5-5.0	Aluminum / iron range (pH 3.0-4.8)
Strongly acid	5.1-5.5	Aluminum range (pH 3.0-4.8)
Moderately acid	5.6-6.0	Cation exchange (pH 4.2-5.0)
Slightly acid to neutral	6.1-7.3	Silicate buffers (all pH values typically > 5)
Slightly alkaline	7.4-7.8	Carbonate (pH 6.5-8.3)

تقدير pH التربة

يتم تقدير pH التربة فى المعمل كالآتى :

١) يخلط 1جزء من التربة مع 2 جزء ماء مقطر أو محلول ملحى متعادل (كلوريد بوتاسيوم) .
٢) يقلب المعلق على فترات لمدة 30 دقيقة وذلك حتى يصل المعلق إلى الإتزان .
٣) قياس pH المعلق بإستخدام جهاز قياس ألـ pH (pH - meter) .

ويتأثر قياس درجة pH التربة بعدة عوامل هى :

١- وجود الحبيبات الغروية المحملة بالشحنات السطحية السالبة ويؤدى تواجدها إلى إنخفاض قيم ألـ pH ويطلق على ذلك تأثير المعلق Suspension effect .
٢- نسبة التربة إلى الماء فى المعلقات المستخدمة تؤثر على قيم pH معلق التربة ولذلك يجب تحديد نسبة التربة إلى الماء (1جزء تربة : 2 جزء ماء) .
٣- يؤثر إستخدام المحلول الملحى على رقم pH معلق التربة (يخفض ألـ pH) ويطلق على ذلك Salt effect لذلك يجب توحيد طريقة القياس .

مصادر قلوية التربة Sources of Alkalinity

تتكون مواد الأصل Parent materials التى تنشأ منها الأتربة من العديد من المعادن مختلفة التركيب والرقم الهيدروجينى pH وترث الأتربة المتكونة هذه الصفات

من مادة الأصل . وفى مناطق مختلفة من العالم يوجد العديد من الأتربة التى تحتوى على كربونات الكالسيوم بنسب مختلفة ولذلك تسمى بالأتربة الجيرية calcareous وتتميز هذه الأتربة بإرتفاع الرقم الهيدروجينى نتيجة لما يلى :

(١) التحلل المائى للكربونات Carbonate Hydrolysis

ينتج عن التحلل المائى للكربونات إنطلاق أيونات الهيدروكسيل (OH^-) التى تعمل على رفع الرقم الهيدروجينى (pH) للتربة .

$$CaCO_3 + H_2O = Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^-$$

وكربونات الكالسيوم قليلة الذوبان والتفاعل السابق يؤدى إلى رفع الرقم الهيدروجينى حتى 8.3 . وعند إحتواء التربة على كربونات صوديوم Na_2CO_3 فإن الرقم الهيدروجينى يرتفع إلى 10 وذلك نتيجة لأن كربونات الصوديوم أكثر ذائبية من كربونات الكالسيوم . ولهذا السبب نجد أن الأتربة التى تحتوى على 15% صوديوم متبادل تكون ذات قلوية عالية .

(٢) التجويه المعدنية Mineral Weathering

ينتج عن تجويه بعض الصخور والمعادن تأثير حمضى Acidic ويوجد أيضا بعض المعادن الأولية التى ينتج عن تجويتها تأثير قلوى ومثال ذلك التأدرت المائى لفلسبارات الكالسيوم مثل الأنورثيت (Anorthite) الذى ينتج عنه قاعدة قلوية .

$$\underset{\text{anorthite}}{3CaAl_2Si_2O_8} + 6H_2O = \underset{\text{aluminosilicate}}{2HAl_4Si_6O_{10}(OH)_2} + 3Ca(OH)_2$$

وفى التفاعل السابق يتكون معدن الطين مع هيدروكسيد الكالسيوم والتأثير النهائى يكون قلوى . والتفاعل العام للتجويه يكون :

$$\text{M-silicate mineral} + H_2O = \text{H-silicate mineral} + M^+ + OH^-$$

حيث M^+ أيون فلزى مثل الكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم . فإذا كان نظـام التربة يحتوى على كربونات كالسيوم فإن تفاعل التحلل المائى للكربونات هـو الـذى يسود النظام ويرفع الرقم الهيدروجينى للتربة فى المدى مـن 8.3 - 7.5 ويكـون تأثـير التجويه المعدنية فى هذه الحالة ضعيف . وتحول مثل هذه الأتربـة إلى حمضيـة يتطلـب إزالة الكربونات بواسطة الغسيل .

وأيونات الكالسيوم والماغنسيوم تعتبر من الفلزات القلوية الأرضية أما البوتاسيوم والصوديوم فهما من الفلزات القلوية وهذه الكاتيونات يطلق عليها إسم الكاتيونـات القاعدية لأن الأتربة تصبح قلوية عندما تتشبع السعة التبادليـة الكاتيونيـة لهـذه الأتربـة بهذه الكاتيونات . وغسيل الكاتيونات القاعدية من التربة ينتج عنه إحلال للألومنيـوم Al^{+3} ، الهيدروجين محـلـهم وتتحـول التربـة إلى حمضيـة Acidic وتسـمى كاتيونـات H^+, Al^{+3} بالكاتيونات الحمضية Acidic cations .

مصـادر حمـوضـة التربـة Sources of Soil Acidity

تصبح التربة حمضية وذلك للإضافات المستمرة لأيونات الهيدروجين والناتجة عن ثلاث عمليات هامة هى :

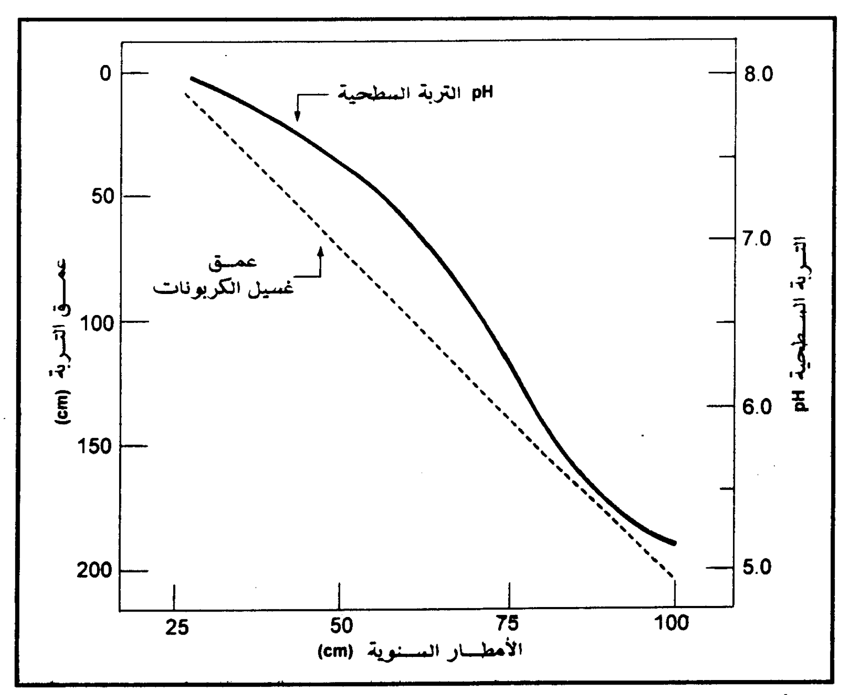
١- ينتج عن تنفس الجذور والكائنات الحية بالتربة غاز ثانى أكسيد الكربـون CO_2 الذى يتفاعل مع المـاء مكونـا حمـض الكربونيـك H_2CO_3 وهـو حمـض ضعيـف يساهم فى حموضة التربة .

٢- ينتج عـن معدنـة المـواد العضويـة بعـض الأحمـاض العضويـة وكذلـك عنصـرى النيتروجين والكبريت اللذان يتأكسدان إلى حمـض النيـتريك وحمـض الكـبريتيك وجميع هذه الأحماض الناتجة تساهم فى حموضة التربة .

٣- ينتـج عـن تفـاعل ثـانى أكسيد الكربـون بـالجو مـع مـاء المطـر تكـون حمــض الكربونيك الذى يتساقط طبيعيا مـع مـاء المطر بإستمرار والـذى يصبـح الرقـم الهيدروجينى (pH) له 5.6 وذلك أيضا يساهم فى حموضة التربة .

فى المناطق الصحراوية نجد أن الأمطار تكون قليلـة ولذلـك فـإن جميـع العمليـات السابق ذكرها يكون تأثيرها ضعيفا فإرتفاع معدل الأمطار يؤدى إلى سيادة العمليات

الثلاثة المذكورة - حيث أن تساقط كميات كبيرة من الأمطار ذات رقم هيدروجيني منخفض يعني إضافة حموضة إلى التربة وأيضا يعني نمو نبات أفضل وبالتالي زيادة في تنفس الجذور وأيضا زيادة معدنة المواد العضوية وكل ذلك ينتج عنه حموضة التربة . وكثير من الدراسات أظهرت العلاقة الوثيقة بين كمية الأمطار السنوية والرقم الهيدروجيني للتربة (pH) وغسيل الكربونات (شكل 12-3) .



شكل (12-3): العلاقة بين الأمطار السنوية وعمق الكربونات المغسول والرقم الهيدروجيني للتربة

أهمية pH التربة Importance of Soil pH

يدل pH التربة على كثير من خواص التربة المختلفة :

١- يؤثر pH التربة على ذائبية المعادن فالأراضي شديدة الحامضية (pH 4.5) تحتوي على تركيزات عالية من الألومنيوم والمنجنيز بدرجة قد تكون سامة

للنبات لأن معظم المعادن تذوب فى الأتربة الحامضية بدرجة أكبر من الأتربة القلوية أو المتعادلة .

٢- يؤثر pH التربة على نمو النبات عن طريق التأثير على الميكروبات الثانوية فى التربة حيث أن البكتريا المثبتة للنيتروجين فى البقوليات تصبح غير نشطة فى الأتربة الحامضية .

٣- معظم المحاصيل الزراعية تنمو بصورة جيدة فى الأراضى ضعيفة الحموضة(pH 6.5) والنباتات التى تنمو فى تربة قاعدية (pH > 9) غالبا مايكون نموها ضعيفا .

٤- قلوية التربة تؤدى إلى خفض ذائبية كل العناصر الصغرى (ماعدا الكلور والبورون والموليبدنوم) مثل الحديد والزنك والنحاس والمنجنيز . أيضا الفوسفات فى الأتربة القاعدية يكون غير صالح لإمتصاص النبات وذلك لترسبه فى المحلول الأرضى بواسطة الكالسيوم أو ترسبه على سطوح كربونات الكالسيوم.

الحموضة النشطة والحموضة الكامنة

Free vs. Bound Hydrogen Ions

يطلق على أيونات الهيدروجين فى محلول التربة إسم الحموضة النشطة Free وهى التى يتم قياسها ويعبر عنها بألـ pH .

أما الحموضة الكامنة Bound H^+ ions فتطلق على الكاتيونات المتبادلة التى تتفاعل وتمد محلول التربة بأيونات الهيدروجين النشطة وتشمل كاتيونات الهيدروجين (فى الأتربة شديدة الحموضة) وكاتيونات الحديد والألومنيوم فى صورة هيدروكسيدات مثل $Al(OH)_2^+$ وقيمة الحموضة الكامنة بحوالى (10-1000) ضعف الحموضة النشطة .

السعة التنظيمية للأتربة Soils Buffering Capacity

معظم الأتربة تستطيع أن تقاوم التغير فى الرقم الهيدروجينى (pH) عند إضافة مواد شديدة الحامضية أو القاعدية إليها . ومقدرة التربة لمقاومة التغير فى ألـ pH

يطلق عليها السعة التنظيمية للتربة Soil buffering capacity وتزداد السعة التنظيمية للتربة بزيادة السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) . فالسعة التنظيمية للتربة تعمل على إزالة أيونات الهيدروجين من الأحماض المضافة إليها أو معادلة أيونات الهيدروكسيل (OH^-) من القواعد المضافة . وهذا يحدث عن طريق التبادل الكاتيونى والتعادل Neutralization

$$\underset{\text{aqueaus ammonion}}{\text{Colloid} - H + NH_4OH} \rightleftarrows \text{Colloid} - NH_4^+ + \underset{\text{water}}{HOH}$$

$$\text{Colloid} - 2H + \underset{\text{Lime}}{CaCO_3} \rightleftarrows \text{Colloid} - Ca + \underset{\text{gas}}{CO_2 \uparrow} + \underset{\text{water}}{HOH}$$

وفى هذين المثالين نجد أن إضافة سماد الأمونيا وكربونات الكالسيوم لم يحدثا تغير كبير فى pH التربة لأن الأمونيا والجير تم معادلتهما إلى NH_4^+ متبادل أو Ca^{2-} بالإضافة إلى الماء المتعادل .

والفعل التنظيمى للتربة يتحكم فى تركيز العناصر الذائبة مثل $Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Al^{+3}, H^+$ عن طريق السعة التبادلية الكاتيونية فتزيد السعة التنظيمية للتربة بزيادة CEC التربة . فالأتربة الغنية فى المحتوى الطينى (خاصة المونتموريللونيت والفيرميكيوليت) والهيومس تكون قدرتها التنظيمية عالية وذلك على عكس الأتربة الرملية وذلك نتيجة للسعة التبادلية الكاتيونية العالية للطين والمادة العضوية .

مراجع الفصل الثانى عشر

Dean, L.A. and E.J. Rubins (1947). Anion Exchange in Soils. Soil Sci. 63: 377 - 406.

Foth, H.D. (1990). Fundamental of Soil Sciences. John Wiley & Sons Inc. New York.

Harter, R.D. (1983). Effect of Soil pH on Adsorption of Lead, Copper, Zine and Nickel. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 47 - 51.

Hendershot, W.H. and L.W. Lavkulich. (1983). Effect of Sesquioxide Coationgs on Surface Charge of Standard Mineral and Soil Samples. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 1252 - 1260.

Jones, J.A. (1989). Environmental Influences on Soil Chemistry in Cerntral Semiarid Tanzania. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1746 - 1578.

Kirlew, P.W. and D.R. Bouldin (1987). Chemical Properties of the Rhizosphese in an acid Subsoil. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 128 - 132.

Miller, W.R. and R.L. Donahue (1990). Soils. An: Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice-Hall International, Inc. N. J.

Spoisito, Garrison and C.S. LeVesque (1985). Sodium - Calcium - Magnesium Exchange on Silver Hill Illite. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1153 - 1159.

White, R.E. (1987). Introduction to the Principles and Practices of Soil Science. Blackwell Scientific Publication, Oxford.

الفصل الثالث عشر

المحلول الأرضى

Soil Solution

- المحلول الأرضى والإتزان الديناميكى
- طرق الحصول على المحلول الأرضى
- التركيب الأيونى للمحلول الأرضى
- المحلول الأرضى وتغذية النبات



13

المحلول الأرضى

Soil Solution

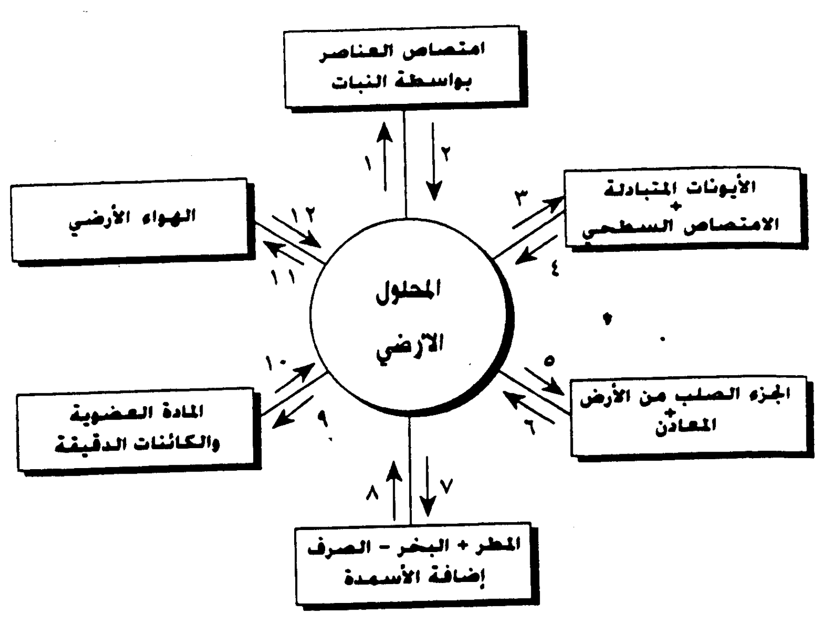
المحلول الأرضى والإتزان الديناميكى

Soil solution and dynamic equilibria

من وجهة نظر كيمياء وخصوبة التربة يطلق على الطور السائل liquid phase فى التربة إسم المحلول الأرضى soil solution . ويعرف المحلول الأرضى بأنه محلول مائى aqueous solution يحتوى على العديد من المواد الذائبة فى صورة أيونات حرة متأدرتة ومركبات عضوية وغير عضوية وفى حالة إتزان ديناميكى مع بقية مكونات التربة الأخرى . فالعديد من التفاعلات الكيميائية المعقدة التى تحدث فى التربة تتفاعل مع بعضها البعض من خلال المحلول الأرضى (شكل 13-1) .

فالمحلول الأرضى هو الوسط الذى يستمد منه النبات معظم العناصر الغذائية اللازمة لنموه (تفاعل ١ شكل 13-1) كما أن النبات يمد المحلول الأرضى بكميات من الأحماض العضوية root exudates (تفاعل ٢) . الأيونات فى المحلول الأرضى يمكن أن تدمص على المكونات العضوية وغير العضوية فى التربة (تفاعل ٣) ويمكن لهذه الأيونات الممتصة أن تنطلق ثانية إلى المحلول الأرضى (تفاعل ٤) وإذا أصبح المحلول الأرضى فوق مشبع بالنسبة لمعدن ما فإن هذا المعدن يترسب (تفاعل ٥) حتى يحدث الإتزان . أما إذا كان المحلول الأرضى لم يصل إلى حالة التشبع under saturated بالنسبة لمعدن ما فيحدث إذابة هذا المعدن (تفاعل ٦) حتى يحدث الإتزان . الأيونات فى المحلول الأرضى قد يحدث لها تخفيف نتيجة

للأمطار وعمليات الرى وإنتقالها إلى المـاء الجوفـى (تفـاعل ٧) أو يحـدث لهـا تركـيز نتيجة عمليات التبخير وإضافات الأسمـدة (تفـاعل ٨) . تركـيز العنـاصر فـى المحلـول الأرضى يتأثر بوجود الأحياء الدقيقة حيث تستمد الأحيـاء الدقيقـة العنـاصر اللازمـة لنموها منه (تفاعل ٩) وفى نفس الوقـت تنطلـق العنـاصر إلى المحلـول الأرضـى عنـد موت هذه الكائنات الحية الدقيقة وبتحلل المادة العضوية (تفاعل ١٠) تنطلق الغازات من المحلول الأرضى إلى الهواء الأرضى (تفاعل ١١) أو تذوب غازات الهواء الأرضـى فى المحلول الأرضى (تفاعل ١٢) .



شكل (1-13) : تفاعلات الإتزان الديناميكى فى التربة (Lindsay, 1979)

طرق الحصـول على المحلول الأرضى

Methods of Obtaining Soil Solution

يوجد العديد من الطرق المعملية للحصـول علـى المحلـول الأرضـى نذكـر منهـا بإختصار مايلى :

١. طريقة الإحلال Immissible Displacement
٢. طريقة غشاء الضغط Pressure or Tension Displacement
٣. طريقة الطرد المركزى السريع Rapid Centrifugation

أولا) طريقة الإحلال Immissible Displacement

وفى هذه الطريقة يستخدم سائل غير قابل للإمتزاج بالماء مثل رابع كلوريد الكربون CCl_4 أو Ethyl benzoylacetate (الخطيب وآخرون ١٩٨٦) حيث يعمل هذا السائل على إزاحة المحلول الأرضى من الجزء الصلب من التربة الرطبة وخلال عملية الطرد المركزى فإن السائل عديم الإمتزاج بالماء يمر خلال التربة إلى أسفل ويحل محل المحلول الأرضى الذى يطفو إلى أعلى فوق سطح عينة التربة. يتم جمع المحلول الأرضى الموجود على سطح عينة التربة ويرشح لإزالة أى معلقات به . وهذه الطريقة شائعة الإستخدام لسهولتها وتوافر الأجهزة اللازمة لها إلا أن المحاليل المستخدمة مثل رابع كلوريد الكربون فى هذه الطريقة ضارة بصحة الإنسان وتعتبر من المسببات لمرض السرطان carcinogenic كما أن المحلول عديم الإمتزاج بالماء قد يلوث التربة بنسبة صغيرة ويعتبر Ethyl benzoylacetate غير سام ولكنه غالى الثمن جداً .

ثانيا) طريقة غشاء الضغط Pressure Membrare Method

وفى هذه الطريقة يستخدم جهاز غشاء الضغط pressure membrare الذى يستطيع أن يستخلص المحاليل الأرضية فى مدى رطوبة يتراوح من درجة التشبع حتى نقطة الذبول المستديم وربما عند قيم رطوبة أقل . فإذا وضعت التربة فى الجهاز عند درجة رطوبة تعادل الذبول المستديم permanent wilting point تحت ضغط غاز (عادة ما يستعمل غاز النيتروجين ويخرج من فتحة خاصة بالجهاز) 15 ضغط جوى فإن المحلول الأرضى يبدأ فى الظهور عندما يصل ضغط الغاز إلى القيمة التى تساوى الشد الرطوبى Moisture tension عند هذه النقطة (15 ضغط جوى) وبهذه الطريقة يمكن الحصول على المحلول الأرضى عند درجات رطوبة مختلفة .

ثالثا) طريقة الطرد المركزى السريع Rapid centrifugation method

وهذه الطريقة تعد أفضل وأسرع الطرق التى تستخدم للحصول على المحلول الأرضى الحقيقى وأيضا هذه الطريقة لاتسبب أى تلوث للمحلول الأرضى على

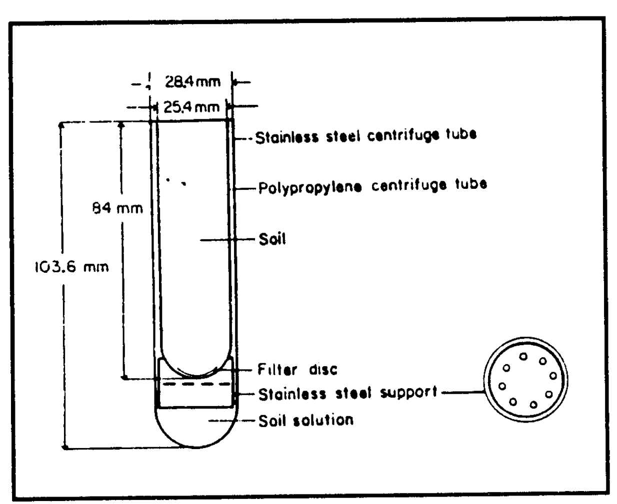
خلاف طريقة الإحلال . ويتم الحصول على المحلول الأرضى بإستخدام الأدوات الموضحة فى شكل (2-13) وإتباع التالى :

١- يضاف ماء إلى عينة التربة حتى تصل إلى السعة الحقلية field capacity ثم تترك للإتزان لمدة 24 ساعة .

٢- بوضع ورقة ترشيح على قاع أنبوبة الطرد المركزى التى تحتوى على عدة ثقوب ثم يتم ملأ الأنبوبة بعينة التربة الرطبة ثم توضع الأنبوبة وبداخلها التربة داخل أنبوبة أخرى من الصلب الذى لايصدأ stainless steel tube لترتكز على جزء آخر من الصلب (شكل 2-13) .

٣- تجرى عملية الطرد المركزى للعينة عند قوة تعادل ms^{-2} 4.8×10^5 لمدة 20 دقيقة .

٤- يتجمع المحلول الأرضى بعد عملية الطرد المركزى داخل الأنبوبة الصلب ويتم تجميعه لإجراء التحليلات اللازمة .



شكل (2-13) :

الأدوات المستخدمة للحصول على المحلول الأرضى (الخطيب وآخرون ، ١٩٨٧)

التركيب الأيونى للمحلول الأرضى

Ionic composition of soil solution

يوضح الجدول (1-13) متوسط تركيز بعض الأيونات الموجودة فى المحلول الأرضى للأتربة الحمضية والقلوية . ويلاحظ إرتفاع تركيز أيون الكالسيوم فى المحلول الأرضى فى التربة الحمضية والقلوية بالمقارنة بالكاتيونات الأخرى .

جدول (1-13) : متوسط التركيب الأيونى للمحلول الأرضى فى الأتربة الحمضية والقلوية

نوع التربة / الأيون	حمضية (pH = 5.15)	قلوية (pH = 7.43)
	مليمول / لتر	mmol L^{-1}
كالسيوم	1.61	12.86
ماغنسيوم	0.75	2.48
بوتاسيوم	1.00	2.29
ألومنيوم	0.13	--
كلوريد	1.04	3.07
فلوريد	1.16	--
نترات	0.16	21.36
كبريتات	1.40	5.01
كربونات	--	3.26

كما يلاحظ أيضا أهمية الكربونات فى التربة القلوية والألومنيوم فى التربة الحمضية وإرتفاع تركيز كاتيونات الكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم فى التربة القلوية عنها فى التربة الحامضية .

المحلول الأرضى وتغذية النبات Soil Solution and Plant Nutrition

مما سبق ذكره يمكن إعتبار المحلول الأرضى المصدر الرئيسى والمباشر للماء والعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات وحيث أن تركيز العناصر الغذائية فى المحلول الأرضى منخفض ولايفى بحاجة النبات لإتمام دورة حياته فبالتأكيد الكمية الذائبة فى

المحلول الأرضى لأى عنصر لاتمثل الكمية الكلية لذلك العنصر فى التربة وإنما تمثل كمية العنصر الصالحة للإمتصاص بواسطة النبات والتى يتم تعويض مايمتصه النبات منها بواسطة الجزء الصلب ولفهم قدرة الطور الصلب على تعويض replenishment مايمتص من المحلول الأرضى بواسطة النبات يجب معرفة العوامل التى تؤثر على صلاحية أى عنصر للنبات .

فى التربة يوجد عاملان هامان يؤثران على صلاحية أى عنصر للنبات :

(أ) عامل الشدة Intensity Factor

ويعرف بأنه تركيز العنصر فى المحلول الأرضى .

(ب) عامل السعة Capacity Factor

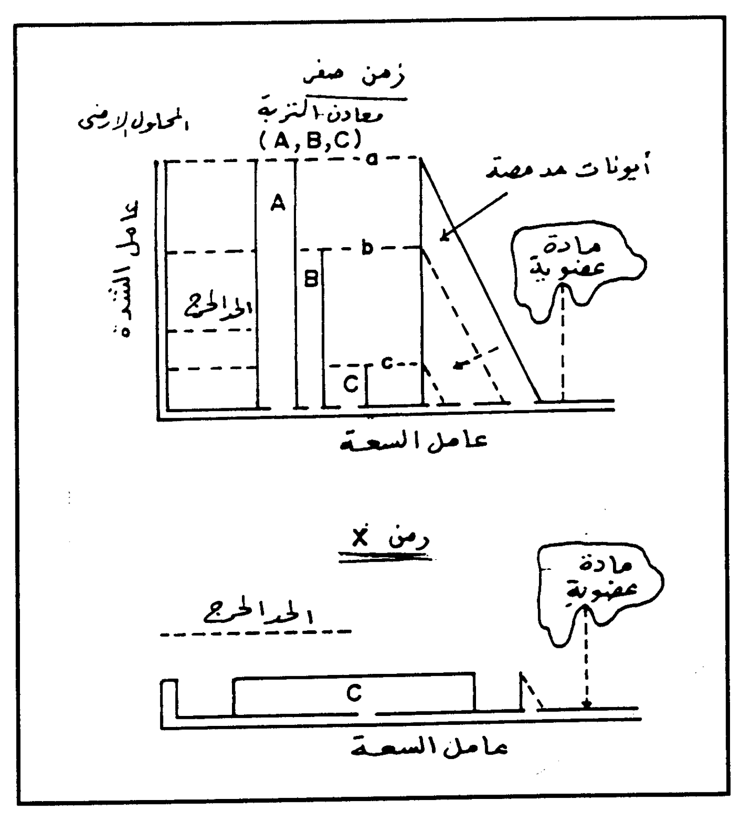
ويعرف بأنه مقدرة الصورة الصلبة فى الأرض على تعويض الإنخفاض فى تركيز عنصر ما فى المحلول الأرضى فكما نعلم فإنه نتيجة لإمتصاص النبات للعناصر (الأيونات) من المحلول الأرضى يحدث إنخفاض فى تركيز هذه الأيونات فى المنطقة الملامسة للجذر ويترتب على ذلك حدوث ظاهرة الإنتشار .

والعلاقة بين عاملى الشدة والسعة وتأثير تلك العلاقة على صلاحية العناصر للنبات موضحة بالشكل (13-3) . وفى الشكل المحور الرأسى يمثل عامل الشدة بينما المحور الأفقى يمثل عامل السعة ويلاحظ مايلى : .

أولا : عند زمن صفر

نفترض مثلاً وجود ثلاثة أنواع من المعادن (A,B,C) وكل من هذه المعادن له مقدرة تختلف عن المعدن الآخر فى إمداد المحلول الأرضى بعنصر ما وعلى فريضة أن المعدن A هو أكثر المعادن ذوباناً فيترتب على ذلك أن يكون المعدن A هو المتحكم فى تركيز هذا العنصر فى المحلول الأرضى ولما كان المحلول فى تلك اللحظة فوق مشبع بالنسبة لمعدنيّ C,B فسوف يحدث ترسيب لهذين المعدنين وينتج عن ذلك ذوبان معدن A تماماً . بعد إنتهاء ذوبان معدن A فإن تركيز العنصر فى المحلول الأرضى سوف ينخفض من a إلى b وعادة مايحدث هذا الإنخفاض تدريجياً نتيجة للسعة التنظيمية للأرض الناتجة عن وجود الأيونات المدمصة والمتبادلة . وعندما يصل

تركيز العنصر فى المحلول الأرضى إلى المستوى b يصبح المحلول فوق مشبع بالنسبة للمعدن C وتدريجيا سوف يذوب معدن B تماما ويتبقى معدن C .



شكل (3-13): تأثير معادن الأرض على ذائبية وصلاحية العناصر للنبات (Lindsay, 1979)

ثانيا : عند زمن X

نجد أن معدن C يصبح هو المتحكم فى مستوى هذا العنصر الغذائى وينخفض تركيز هذا العنصر فى الأرضى إلى المستوى c الذى بدوره يكون أقل من الحد الحرج

critical level اللازم لنمـو النبـات وبالتـالى سـوف تعـانى النباتـات مـن نقـص هـذا العنصر.

ومن المثال السابق نجد أن الطور الصلب هو الذى يتحكـم فـى مسـتوى تركـيز العناصر فى المحلول الأرضى ويمكن تطبيق العلاقة السـابقة علـى عنصـر معـين وليكـن الفوسفور فنجد عند زمن صفر فى أرض مثل الأرض الجيرية المركبات التالية :

A- مركب فوسفات ثنائى الكالسيوم $CaHPO_4$ (حاصل الذائبية = 6.66 -)

B- مركب فوسفات ثمانى الكالسيوم $Ca_4H(PO_4)_3OH$ (حاصل الذائبية = 47.5 -)

C- مركب هيدروكسى أباتيت $Ca_5(PO_4)_3OH$ (حاصل الذائبية = 57 -)

ويعتبر مركـب هيدروكسـى أبـاتيت مـن أكـثر مركبـات الفوسـفات ثباتـاً فـى الأرض . وفى هذا المثال نجد أن معدن فوسفات ثنائى الكالسيوم (A) أكـثر المعـادن ذوباناً ويعطى أعلى تركيز للفوسفور فى المحلول الأرضى وبذوبان هذا المعدن نجـد أن المحلول يصبح فوق مشـبع بالنسـبة لفوسـفات ثمـانى الكالسـيوم وللأبـاتيت وبذوبـان المعدن A تماماً يبدأ تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى فى الإنخفاض ويصبـح معـدن (B) فوسفات ثمانى الكالسيوم هو المتحكم فى تركـيز عنصـر الفوسـفور فـى المحلـول ويعتبر فوق مشبع بالنسبة لمعدن هيدروكسى الأباتيت ويـذوب بـالتدريج معـدن (B) ويتبقى فقط الهيدروكسى أباتيت (C) الذى يصبح بالتالى المتحكم فـى تركـيز عنصـر الفوسفور فى المحلول الأرضى .

العوامل المؤثرة على تركيز العناصر فى المحلول الأرضى

Factors affecting elements concentration in soil solution

تتكون العناصر الغذائية الذائبة فى المحلول الأرضى أساساً من عديد من المصـادر مثل تجويه المعادن الأولية وتحلل المـادة العضويـة وإضافـات الأسمـدة وبمجـرد وصـول العناصر الغذائية إلى المحلول الأرضى فإنها تختلف كلية فى تفاعـلاتها فـمـثلاً أيونـات الكلوريد والنترات والكبريتات تكون ذائبة ولاتكون مركبات غير ذائبة مع مكونـات التربة ونتيجـة لذلك فإن هـذه الأيـونات عند إضـافتها للتربة تبقى فى المحلول الأرضى

حتى يتم إمتصاصها بواسطة النبات أو الكائنـات الحيـة الدقيقـة أو تفقـد بالغسـيل أو يحدث لها عملية عكس التأزت بالنسبة للنترات . وفى الأتربة الحامضيـة تميـل أيونـات الكبريتات إلى الإدمصاص على سطوح التربة .

أما الكاتيونات الذائبة فى الماء والمتزنة مع تلك الموجودة على مواقع التبادل مثـل النحـاس والزنـك فهـى تكـون معقـدات مـع مـادة التربـة العضويـة كمـا أن أيونـات الحديديك والألومنيوم فهى تكون هيدروكسيدات غير ذائبة أو أكاسيد متأدرتة كمـا أن الفوسفور قد يكون فوسفات الحديد والألومنيوم والكالسيوم .

ويوجد العديد من العوامل التى تؤثر على ذائبية العنـاصر الغذائيـة الموجـودة فـى المحلول الأرضى والتى فى حالة إتزان مع الجزء الصلب وأهم هذه العوامل :

(١) الرقم الهيدروجيني (pH)

وهو عامل هام جداً فى تحديد ذائبية العناصر فنجد أن ذائبية أكاسيد الحديد تقل بزيـادة الرقـم الهيدروجينـى بينمـا ذائبيـة الكاتيونـات الأخـرى التـى تميـل إلى تكويـن معقدات Complexes مثل النحاس والزنك فتزداد بإنخفاض الرقم الهيدروجينى .

(٢) ظروف الإختـزال Reducing conditions

عند غمر التربة الحامضية بالماء ينشأ عن ذلك ظـروف لاهوائيـة وتكـون أغلـب التفاعلات فى التربة هى تفاعلات إختـزال . وعموما تفاعلات الإختـزال هى عبـارة عن تفاعلات مستهلكة للبروتونات أى يحدث نقص فى أيونـات الهيدروجـين فـيرتفع تبعاً لذلك pH التربة ويتأثر ذوبان العناصر بتغير pH التربـة .

مراجع الفصل الثالث عشر

Adams, F. (1971). Ionic Concentration and Activities in the Soil Solution. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 420 - 426.

Elkhatib, E.A.; O.L. Bennett. and V.C. Baligar (1986). A centrifuge Method for obtaining Soil Solution using an immisible liquid. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 297 - 299.

Elkhatib, E.A.; J.L. Hern and T.E. Staley (1987). A rapid centrifugation Method for Obtaining Soil Solution. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 578 - 583.

Lindsay, W.L. (1979). Chemical Equilibria in Soils. Wiley, New York.

Wolt, J. (1994). Soil Solution Chemistry. Wiley, New York.

الفصل الرابع عشر

خصـــوبة التربة وتـغـذية النبـات

Soil Fertility and Plant Nutrition

- العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات
- مصادر العناصر الغذائية وميكانيكية إمتصاصها
- خصوبة التربة والعوامل المؤثرة عليها
- العناصر الغذائية الكبرى
- العناصر الغذائية الثانوية
- العناصر الغذائية الصغرى



14

خصـــوبة التربة وتـغـذية النبـــات

Soil Fertility and Plant Nutrition

العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات :

يعرف تغذية النبات " بأنه عملية إمتصاص النبـات للعنـاصر الأساسـية اللازمـة لنموه فى صورة صالحة " . فعند زراعة البذرة فى تربة رطبة تمتص البذرة الماء وتنتفخ ويتمزق غلاف البذرة ويتحرك الجذر الأولى إلى أسفل الذى سرعان مايمتص العنـاصر الأساسية اللازمة لنموه من محلول التربة ويتبـع ذلـك نمـو السـاق إلى أعلـى وإختراقه سطح التربة حيث يتعرض لأشعة الشمس ومع وجود الكلورفيل الأخضر تقوم الأوراق بتصنيع الغذاء اللازم لنمو النبات .

ويمكن للنبات أن يمتص أكثر من تسعون (90) عنصرا غـذائياً ولكنه يحتاج فقط إلى ستة عشر عنصراً أساسيا لنموه . والعناصر الأساسية هى الكربون ، الهيدروجين ، الأكسـيجين ، النيـتروجين ، البوتاسـيوم ، الفوسـفور ، الكـبريت ، الكالسـيوم، الماغنسيوم ، الحديد ، البورون ، المنجنيز ، النحاس ، الزنـك ، الموليبدنـوم والكلـور . ويحتـاج الحيـوان والإنسـان إلى جميـع هـذه العنـاصر بخلاف البـورون بالإضافـة إلى الصوديوم ، اليـود ، والسـلينيوم والكوبـالت وجميـع هـذه العنـاصر توجـد أيضـا فـى النبات.

وعموما تقسم العناصر الغذائية التى يحتاجها النبات لنموه إلى :

١- عناصر غـذائية كبرى Macronutrients

وهـى العنـاصر التـى يحتاجهـا النبـات بكميـات كبـيرة وتـتراوح مـن بضـع كيلوجرامات إلى 300 - 200 كيلوجـرام لكل هكتار مـثل الكربـون والهيـدروجين

والأكسيجين (يحصل عليها النبات من الهواء والماء) والنيتروجين والفوسفور والكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم (يحصل عليها النبات من التربة والأسمدة) .

٢- عناصر غذائية صغرى Micronutrients

وهى العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات والتى يحتاجها بكميات صغيرة تتراوح بين بضعة جرامات إلى بضع مئات من الجرامات لكل هكتار مثل: الحديد والمنجنيز والنحاس والزنك والموليبدنوم والبورون والكلور .

ويوضح الجدول (1-14) العناصر الغذائية وصورها الأيونية الصالحة لإستخدام النبات والموجودة فى الهواء والماء والتربة .

جدول (1-14): العناصر الغذائية وصورها الأيونية الصالحة للإمتصاص بواسطة النبات والموجودة فى الماء والهواء والتربة.

العنصــــر	الرمز الكيميائى	الصورة الممتصة بواسطة النبات	٪ من الوزن الجاف
		العناصر التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة	
الكربون	C	CO_2	50%
الأكسجين	O	H_2O	40%
الأيدروجين	H	H_2O	4.5%
النتروجين	N	NO_3^- , NH_4^+	↑
الفوسفور	P	$H_2PO_4^-$, $HPO_4^=$	
البوتاسيوم	K	K^+	
الكالسيوم	Ca	Ca^{++}	5.5%
المغنسيوم	Mg	Mg^{++}	
الكبريت	S		
		العناصر التي يحتاجها النبات بكميات صغيرة	
المنجنيز	Mn	Mn^{++}	
الحديد	Fe	Fe^{++}	
البورون	B	BO_3^{---}	
الزنك	Zn	Zn^{++}	
النحاس	Cu	Cu^{++}	
المولبدنيم	Mo	MoO_4^{--}	
الكلوريد	Cl	Cl^-	↓

مصادر العناصر الغذائية :

يمتص النبات العناصر الغذائية اللازمة لنموه أساساً من المحلول الأرضي soil solution ويتم تعويض مايفقد من المحلول الأرضي من العناصر الغذائية عن طريق المصادر التالية :

١- الطور الصلب لمكونات نظام التربة

يعتبر الطور الصلب solid phase فى التربة هو المخزن الرئيسى لمعظم العناصر الغذائية عدا النيتروجين والكبريت فمحتوى التربة من العناصر الغذائية يفوق مئات المرات إحتياجات المحاصيل المنزرعة بها ولكن قدرة هذه العناصر للإنطلاق إلى المحلول الأرضى لكى تصبح فى صورة صالحة للإمتصاص بواسطة النبات. تحتاج إلى وقت طويل قد يتجاوز حدود موسم زراعة أى محصول فلقد وجد على سبيل المثال أن محتوى الفوسفور الكلى فى 600 عينة تربة مختلفة يتراوح بين 100 - 0.3 طن فوسفور/هكتار ولكن الكمية الصالحة للإمتصاص بواسطة النبات لاتتعدى 0.2% من الكمية الكلية وهذا يشير بوضوح إلى حجم الإحتياطى الكبير الموجود من الفوسفور فى التربة .

ويعتبر الجزء العضوى من الطور الصلب هو المخزن الرئيسى للعناصر الغذائية التى يمتصها النبات فى صورة آنيونية Anions مثل النيتروجين والفوسفور والكبريت فمادة الأرض العضوية تحتوى على حوالى 95% من النيتروجين ، 60% من الفوسفور الكلى ، 80% من الكبريت الموجود فى التربة أما إحتياطى البورون والموليبدنوم فيوجد فى كلا من مادة الأرض العضوية أو مدمص على أكاسيد الحديد خلال مجموعة الهيدروكسيل .

وإمتصاص النبات للعناصر الغذائية التى يحتاجها لنموه من المحلول الأرضى soil solution يؤدى إلى نقص تركيز هذه العناصر فى المحلول الأرضى ويتم تعويض هذا النقص عن طريق مايلى :

١- الأيونات المدمصة على معادن الطين
٢- التحلل الكيميائى البطىء لمعادن التربة
٣- التحلل السريع لمادة الأرض العضوية

ونادراً مايكون معدل إحلال جميع العناصر الممتصة من المحلول الأرضى عالى بدرجة كافية للحصول على المحصول الأعظم ولذلك فإن النقص فى العناصر يتم تعويضه عن طريق الأسمدة .

٢- الأسمدة Fertilizers

تكمن أهمية الأسمدة الكيميائية (المعدنية والعضوية) فى تعويضها السريع للنقص الموجود فى التربة من العناصر الغذائية الهامة للنبات ولأنه أيضا يمكن التحكم فى نوع العناصر المراد إضافتها إلى التربة وكميتها بالإضافة إلى سهولة إستعمالها مما ينعكس ذلك على تحسين الإنتاج ونوعيته ولهذا السبب نجد أن إستهلاك الأسمدة فى الآونة الأخيرة قد زاد بشكل ملحوظ .

٣- الأمطار

أحيانا تعتبر الأمطار مصدراً هاما لبعض العناصر الغذائية فى التربة مثل الكبريت والنيتروجين وتقدر كمية الكبريت المضافة إلى التربة بواسطة الأمطار بحوالى 15-100 كجم كبريت / هكتار .

ميكانيكية إمتصاص العناصر Mechanism of Nutrients Uptake

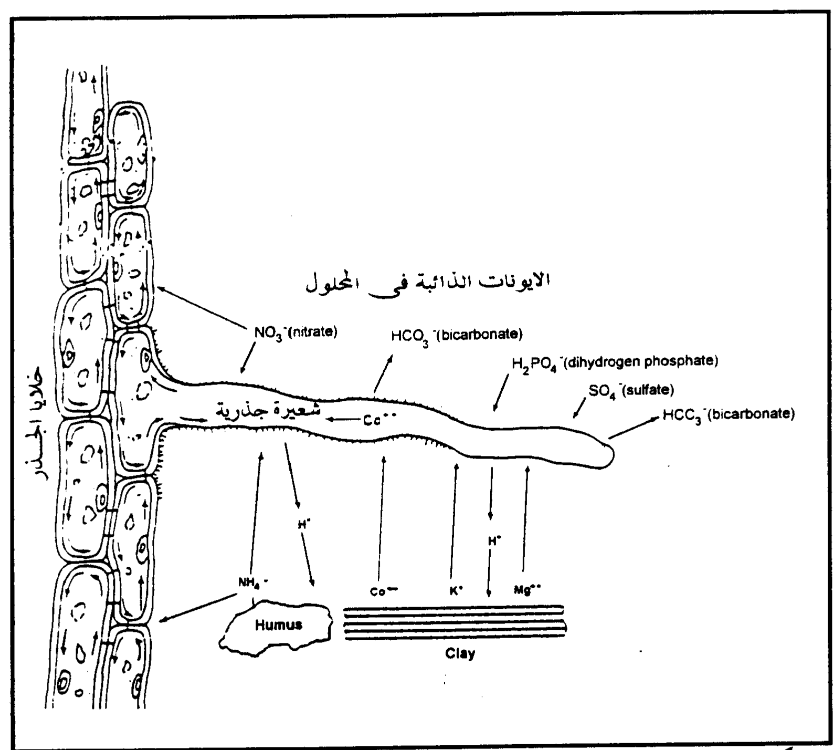
تتم عملية حصول النبات على العنصر الغذائى من الجزء الصلب خلال الخطوات التالية (شكل رقم 14-1) :

أ) تحول العنصر من الصورة الصلبة إلى الصورة السائلة فى المحلول الأرضى .

ب) يتحرك المحلول من أى موقع فى المحلول الأرضى إلى الجدار الخارجى لجذر النبات .

ج) ينتقل الأيون من الجدار الخارجى للجذر إلى داخل جذر النبات .

د) ينتقل الأيون من داخل جذر النبات إلى أعلى النبات .



شكل (14-1):

رسم توضيحى يبين تركيب الجذر وكيفية إمتصاص الشعيرات الجذرية للعناصر الغذائية من المحلول الأرضى والأيونات المدمصة على معادن الطين والغرويات العضوية والشعيرة الجذرية تعتبر إمتداد طبيعى لأحد خلايا الجذر السطحية وتمتص مايحتاجه النبات من الماء والعناصر الغذائية .

وينتقل العنصر من الطور السائل إلى الجدار الخارجى لجذر النبات بالطرق التالية (شكل رقم 14-2) :

أ – الإنسياب الكتلى Mass Flow

حيث يصحب إمتصاص جذر النبات للماء إمتصاص تلقائى لمايحتويه هذا الماء من عناصر غذائية ذائبة .

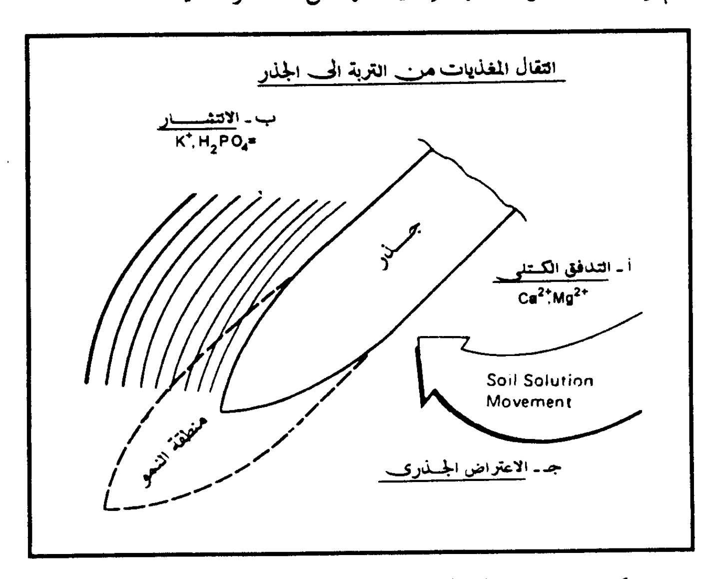
ب- الإنتشار Diffusion

ويتم عند وجود فرق فى تركيز عنصر معين بين نقطتين فيتحرك العنصر من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض .

جـ- الإعتراض الجذرى Root Interception

ويحدث نتيجة لنمو المجموع الجذرى فتخترق الشعيرات الجذرية التربة وتعترض العناصر الغذائية ويحدث الإمتصاص .

كما يمكن للنبات أن يمتص العناصر الغذائية خلال فتحات صغيرة فى الأوراق تسمى Stomota ولكن هذا النوع من الإمتصاص يحدث عادة بكميات قليلة مقارنة بالكمية الممتصة بواسطة الجذر ويعتقد أن الإمتصاص المباشر للعناصر خلال الأوراق نادراً مايتعدى عدة كيلوجرامات لكل هكتار ولذلك فإن التركيزات الصغيرة من العناصر الصغرى يمكن تزويد النبات بها عن طريق الرش الورقى . وهذه الطريقة تستخدم لإمداد أشجار الفاكهة بإحتياجاتها من العناصر الدقيقة .



شكل (2-14) : ميكانيكيات إنتقال العناصر من التربة إلى جذر النبات

خصـوبة التربة Soil Fertility

وتعرف خصوبة التربة بأنها " قدرة التربة على إمداد النبـات بالعنـاصر الغـذائية بالكميات والصور الملائمة لنموه ".

وهذا يعنى أنه لكى تكون التربة الزراعية خصبة فلابد من أن تكون ذات محتوى عالٍ من العناصر الغذائية فى صورة صالحة لنمو النبات مما ينعكس ذلـك إيجابـا علـى نمو المحصول وإنتاجيته .

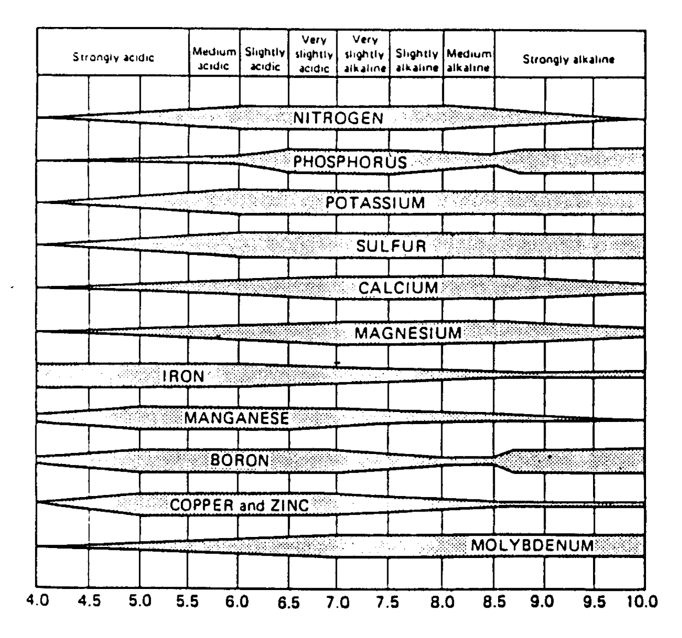
والأتربة الزراعية تختلف فيما بينها فى المحتوى من العنـاصر الغـذائية وأيضـا فـى قدرتها التعويضية وتكرار زراعة الأراضى يؤدى عمومـا إلى إستنفاد معظـم العنـاصر الغذائية بواسطة النبات وتصبح هذه الأراضى فقيرة فى العناصر الغذائية ممـا ينعكـس سلباً على المحصول الناتج .

ويمكن القول أن إستعمال الأسمدة الكيماوية المقنـن يزيـد مـن خصوبـة التربـة وإمداد النبات بما يحتاجه من عناصر غذائية لذلك يجب إضافة الأسمـدة بطـرق علميـة سليمة وتستعمل طرق متعـددة لتقدير خصوبـة التربـة وإحتياجـات النبـات للعنـاصر الغذائية ولايتسع المقام هنا لذكرها أو الإفاضة فيها .

العوامل المؤثرة على خصوبة التربة :

١- درجة حموضة التربة Soil - pH

يؤثر pH التربة على نمو النبات وتطوره من خلال تأثيره على صلاحيـة العنـاصر الغذائية اللازمة لنمو النبات فنجد أن زيادة pH التربة مثلا يؤدى إلى زيـادة صلاحيـة بعض العناصر للنبات مثل الموليبدنوم والكالسيوم بينما يؤدى إلى قلـة صلاحيـة بعـض العناصر الأخرى مثل الفوسفات الذى يتحول إلى صورة قليلة الذوبان وكذلك معظم العناصر الصغرى تقل صلاحيتهـا للإمتصـاص بواسـطة النبـات بإرتفـاع رقـم ألـ pH (شكل رقم 14-3) .



شكل (3-14) : تأثير قيمة pH التربة على صلاحية العناصر الغـذائية

٢- قوام التربة ومعادن الطين Soil Texture and Clay Minerals

يلعب الطين دوراً أساسيا فى تحديد خواص التربة الكيميائية والفيزيائية فهو يعتبر من أكثر مكونات التربة قدرة على الإحتفاظ بالماء كما يمكـن إعتبـار الطـين مصـدراً لعدد محدود من العناصر .

أيضا نوع معدن الطين يؤثر علـى صلاحيـة العنـاصر الغـذائـية فمعـادن الطـين 1:1مثل معدن الكاؤولينيت يمتـاز بإنخفـاض السـعة التبادليـة الكاتيونيـة وبذلـك تقـل قدرته على الإحتفاظ بالعناصر الغـذائية . أمـا معـدن الفـيرميكيوليت فيمتـاز بإرتفـاع السعة التبادلية الكاتيونية كما أن لـه قـدرة تثبيتيـة لبعـض المغـذيات مثـل البوتاسـيوم والأمونيوم .

٣- محتوى التربة من المادة العضوية Soil Organic Matter

للمادة العضوية دوراً رئيسيا فى التأثير على خصوبة التربة فزيادة محتوى أى تربة من المادة العضوية يعنى زيادة خصوبتها لأن المادة العضوية تعتبر مصدراً ومخزنا للعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات مثل النيتروجين والكبريت والفوسفور وغيرها كما أن المادة العضوية تتميز بسعة تبادلية كاتيونية عالية وسطح نوعى كبير مما يزيد من قدرة التربة على الإحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية .

٤- محتوى التربة من الأملاح الذائبة

يقل معدل الأمطار عن معدل البخر Evapotranspiration فى المناطق الجافة مما يؤدى إلى تجمع الأملاح فى الأراضى وتتكون الأتربة المتأثرة بالأملاح Salt affected soils وينتج عن ذلك خلق ظروف غير مناسبة لتغذية النبات .

٥- محتوى التربة من الكربونات

يختلف محتوى الأتربة الموجودة فى المناطق الجافة وشبه الجافة من الكربونات الكلية من نسبة بسيطة إلى حوالى 80% - 60 أو أكثر من وزن التربة ومن أهم مشاكل تلك الأتربة (الجيرية) إرتفاع رقم ألـ pH مما يؤثر على صلاحية بعض العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات .

العناصر الغذائية الكبرى
Macronutrients

النيتروجين Nitrogen

يعتبر النيتروجين من العناصر الأساسيه لنمو النبات حيث يدخل فى تركيب الأحماض الأمينيه والبروتين اللازمين لبناء أنسجة النبات وبروتوبلازم الخلايا.

محتوى الطبقه السطحيه فى الأراضى المعدنيه من النيتروجين يتراوح بين 0.02-0.5% بمتوسط 0.15% وعلى ذلك فإن الهكتار يحتوى على حوالى 3.3 Mg N. بينما يحتوى الهواء أعلى هذا الهكتار على حوالى 300,000 Mg N . ويتضح من ذلك إحتواء الهواء الجوى (80% N) على مصدر لا نهائى من النيتروجين ولكن فى صورة غير صالحة لامتصاص النبات .

وتنقسم صور النيتروجين فى التربه الى :

(i) نيتروجين معدنى

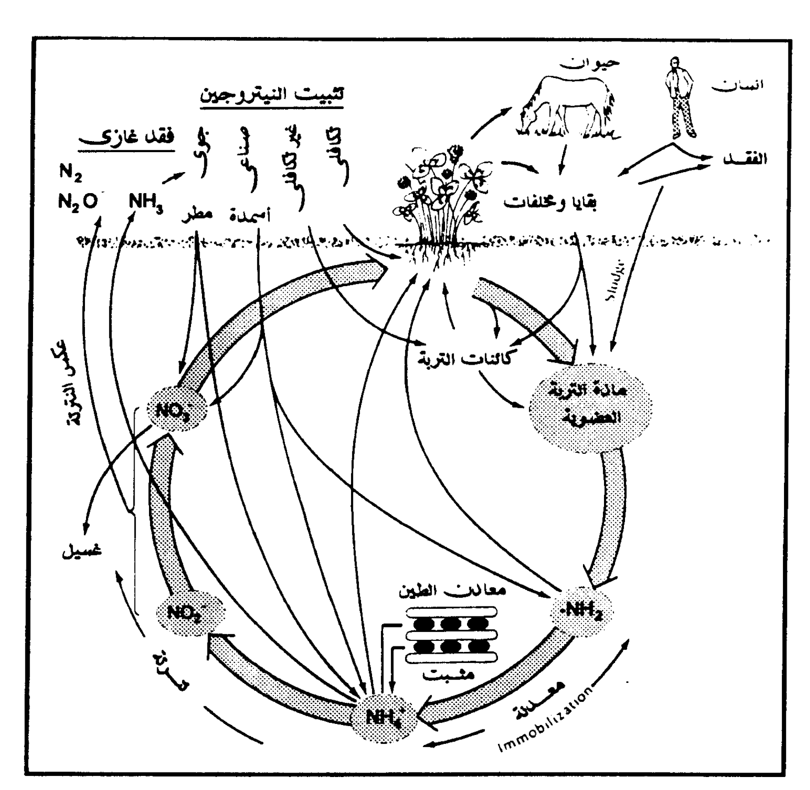
ويمثل حوالى 1% من النيتروجين الكلى ويشمل أيونات النترات الذائبه فى المحلول الأرضى وأيونات الأمونيوم المتبادله على أسطح معادن الطين . ومصدر النيتروجين المعدنى هو إضافه الأسمدة النيتروجينيه أو معدنه النيتروجين العضوى .

(ii) نيتروجين عضوى

ويمثل 99% من كمية النيتروجين الكلى ويعتبر النيتروجين العضوى مخزوناً للنيتروجين حيث يتم معدنه ما بين 4% - 1 سنوياً ويصبح صالحاً للأستخدام بواسطة النبات .

دورة النيتروجين The Nitrogen Cycle

تمثل دورة النيتروجين التفاعلات التى تحدث بين صور مختلفه للنيتروجين فى الأرض والنبات والحيوان والهواء (شكل رقم 14-4) فمحتوى التربه من النيتروجين ينتج أساساً من بقايا المحاصيل والأسمدة المعدنية والعضويه وما تحتويه الأمطار من أمونيوم ونترات . بالإضافة إلى تثبيت النيتروجين بواسطة أحياء التربه الدقيقه وتحويله إلى مركبات نيتروجينيه عضويه فى أجسامها ثم تحول هذه المركبات العضويه إلى صور معدنيه متعدده من خلال عمليه معدنه النيتروجين Mineralization. والنيتروجين المعدنى قد يمتص بواسطة النبات أو يفقد بالتطاير أو بالغسيل أو يتحول إلى مكونات عضويه فى أجسام أنواع معينه من أحياء التربه الدقيقه من خلال عملية immobilization . ومن خلال هذا العرض المبسط لدورة النيتروجين يتضح لنا تعرض النيتروجين فى صورته العضويه وغير العضويه إلى تغيرات عديدة ومستمرة تؤثر بشكل جوهرى على صلاحية النيتروجين للنبات ومدى الإستفادة منه .



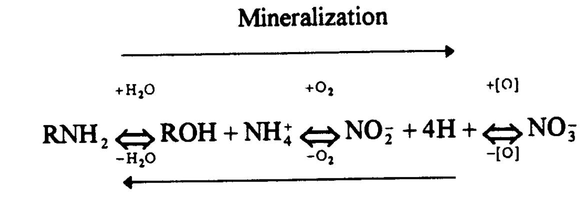
شكل (14-4): دورة النيتروجين توضح التحولات البيولوجيه الأساسيه (الدائره) للنيتروجين ومصادر النيتروجين فى التربه وكذلك فقد النيتروجين من التربه .

الأقسام الرئيسيه فى دورة النيتروجين

(أ) Immobilization and Mineralization

وعملية Immobilization هى ببساطه تحـول أيونـات النيـتروجين غـير العضويـه (NH_4^+, NO_3^-) إلى صور عضويه . وهـذه العمليـه تحـدث أساساً عنـد إضافـة بقايـا النباتات والحيوانات ذات المحتوى المنخفض من النيـتروجين فعنـد مهاجمـة ميكروبـات التربه لهذه البقايا تمتص أيونات النيتروجين غير العضويه وتحولـه إلى أنسـجه عضويـه . وعند موت هذه الكائنات الحيه الدقيقه يتحول بعض النيتروجين العضوى إلى صـــور

تدخل فى تركيب الدبال والبعض الآخر يتحول إلى أيونات نترات وأمونيوم (NH_4^+). أما عمليه تحول الصور العضويه للنيتروجين إلى صور معدنيـه (NH_4^+, NO_3^-) يطلق عليهـا معدنـه Mineralization ويمكـن تصويـر عمليتـى المعدنـــه Mineralization و Immobilizationكما يلى:



ولقـد أظهـرت التجـارب أن حـوالى 2-3% مـن النيـتروجين العضـوى (Immobilized) يتم معدنته سنوياً ويقدر بحوالى 60 kg N/ha/yr ويسـد النيـتروجين المعدنى جزء كبير من أحتياجات المحاصيل .

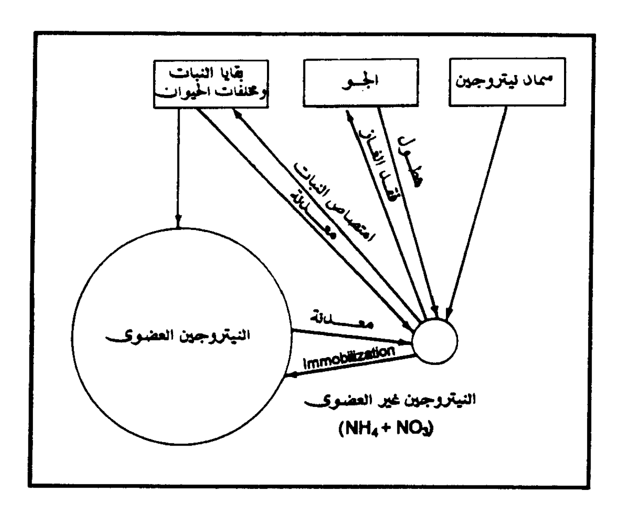
(ب) مصيرمركبات الأمونيوم (NH_4) Fate of ammonium compounds

يتم أستهلاك النيتروجين الموجود فى صوره أمونيوم (NH_4^-) كما يلـى (شـكل 14-5) :

(i) يستخدم بواسطة ميكروبات التربه ويتحول إلى صورة عضويه فى أجسامهم .
(ii) يتم إمتصاصه بواسطة النبات .
(iii) يتم تثبيته فى معادن الطين (فيرميكيوليت) والمادة العضويه .
(iv) يفقد جزء منه على صور غاز الأمونيا (NH_3) إلى الجو .
(v) يتحول بواسطة أنواع معينه من البكتريا إلى نيتريت ونترات .

(١) تثبيت الأمونيوم :

يقدر الأمونيوم المثبت فى التربه بحوالى 10% من النيتروجين الكلى ويتـم تثبيـت الأمونيوم بواسطة الجزء العضوى وغير العضوى فى التربه .



شكل (5-14) : مصادر وعمليات تحول النتروجين العضوى والمعدنى .

التثبيت بواسطة معادن الطين :

العديد من معادن الطين 1 : 2 لها القدره على تثبيـت أيونـات الأمونيـوم ومثـال ذلك الفيرمكيوليت والميكا فحجم أيونات الأمونيوم يناسب حجم الفراغات الموجوده فى التركيب البلورى لهذه المعادن وبالتالى يدخل أيون الأمونيـوم فـى هـذه الفراغـات ويصبح جزء من التركيب البللورى للمعدن أى يتـم تثبيتـه ويصبـح فـى الصـورة غـير المتبادله nonexchangeable from وهذه الصوره يمكن أن تنطلق ببطء شديد ويستفيد منها النبات ويمكن التعبير عن الصوره المختلفه للأمونيوم فى التربه كما يلى :

$$NH_4 \Leftrightarrow \boxed{\text{Micelle}}\ NH_4^+ \Leftrightarrow \boxed{\text{Micelle}-NH_4^+}$$

المحلول الأرضى   متبادل   مثبت

التثبيت بواسطة مادة التربة العضوية :

عند اضافه الأسمدة النيتروجينيه التى تحتوى على أمونيا (NH_3) إلى التربه تتفـاعل هذه الأسمدة مع مـادة التربه العضويه وتكون مركبات صعبه التحلل ويقـال فى هذه

الحاله أن الأمونيا تم تثبيتها بواسطة المـادة العضويـة . وفـى الأراضـى المعدنيـه يحـدث معدنه للأمونيا المثبته ويستفيد منها النبات على المدى الطويل .

(٢) تطاير الأمونيا Ammonia Volatilization

الأمونيوم الموجودة فى الأرض والناتجه عن إضافة الأسمدة الأمونيوميه أو اليوريـا أو الناتجه عن معدنه النيتروجين العضوى (أسمدة عضويـة) يمكـن أن تفقـد بكميـات كبيرة عن طريق تطاير الأمونيا(NH_3). وتطاير الأمونيـا يحـدث فـى المحـاليل القاعديـه ولذلك فتطاير الأمونيـا يحـدث بكميـات كبـيرة عنـد إضافـه الأسمـدة الأمونيوميـه أو اليوريا على سطح الأراضى الجيريه أو القاعديه وقد يصل إلى حوالى 30% .

وعند إضافة أيون الأمونيوم إلى أراضى جيرية يحدث التفاعلين التاليين :

$$(NH_4)_2Y + CaCO_3 \rightarrow (NH_4)_2CO_3 + CaY \qquad (Y = \text{Various anions})$$

$$(NH_4)_2CO_3 + HOH \rightarrow 2NH_3 \uparrow (gas) + 2HOH + CO_2 \uparrow (gas)$$

ويمكن تلخيص فقد الأمونيا بالتطاير فى الأراضى كما يلى :

- فقد الأمونيا بالتطاير يكون كبيراً فى الأراضى الجيريه .
- فقد الأمونيا بالتطاير يكون كبيراً عند إضافة الأسمدة على سطح التربه .
- فقد الأمونيا بالتطاير يكون كبيراً فى درجات الحرارة المرتفعة .
- فقد الأمونيا بالتطاير يكون كبـيراً فـى الأراضـى ذات السـعه التبادليـه الكاتيونيـة المنخفضة .

(٣) التأزت (النترته) Nitrification

وهى عملية أكسده الأمونيوم إلى نترات بواسطة أنواع معينه من الكائنات الحيـه الدقيقه الموجوده فى التربه وتتم على خطوتين :

(i) أكسدة الأمونيوم إلى نيتريت (NO_2^-) بواسطة الجنس البكتيرى Nitrosomonas.
(ii)أكسدة النيتريت إلى نترات (NO_3^-) بواسطة جنس Nitrobacter .

ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلات كما يلى :

الخطوة الأولى :

$$NH_4^+ \xrightarrow{[O]} HONH_2 \xrightarrow{-2H} \tfrac{1}{2}\,HONNOH \xrightarrow{[O]} NO_2^- + H^+ + Energy$$

(Nitrosomonas)

Ammonium Hydroxylamine Hyponitrite Nitrite

الخطوة الثانية :

Nitrobacter

$$NO_2^- \xrightarrow{[O]} NO_3^- + Energy$$

وغالباً ما تحدث الخطوة الثانية مباشرة بعد الخطوة الأولى وذلك حتى لايتجمع النيتريت فى التربه والذى يعتبر سام للنبات .

(جـ) مصير النترات Fate of Nitrate

النيتروجين الموجود فى التربه على صورة نترات نتيجة اضافة الأسمدة أو المتكون نتيجه عمليه التأزت قد يحدث له ما يلى :

(١)يستخدم بواسطة النباتات والكائنات الحيه الدقيقه فى التربه فى عمليات التمثيل الغذائى assimilations .

(٢)يفقد فى مياه الصرف .

(٣)يفقد فى صورة غاز عن طريق عمليه عكس التأزت denetrification .

(١) التمثيل الغذائى بواسطة النباتات والكائنات الحيه الدقيقه :

كلا من النباتات والكائنات الحيه الدقيقه فى التربه يستخدمان النترات فى عمليات التمثيل الغذائى . وفى بعض الأحوال يمكن للكائنات الحيه الدقيقه استهلاك النترات من التربه بصوره أسرع من النباتات مما يكون له أثر سئ على النباتات فى حالة عدم وجود كفايه من النترات فى التربه .

(٢) الفقد بالغسيل :

نتيجة لأن أيون النترات يحمل شحنه سالبه فانه لايدمص على غرويات التربه المحمله بشحنه سالبه وبذلك يكون عرضه للفقد بالغسيل بواسطة الماء المستخدم فى الرى أو عند سقوط الأمطار وتتوقف كمية النترات المفقودة فى مياه الصرف على المناخ والممارسات الزراعيه . وفقد النترات بالغسيل فى مياه الصرف قد يؤدى إلى إرتفاع تركيز النترات فى المياه الجوفيه إلى درجة تكون ضاره بالأنسان والحيوان ولذلك يجب الحد من فقد النترات بالغسيل للحفاظ على البيئه من التلوث .

(٣) عكس التأزت Denetrification :

يحدث فقد النترات من التربه على الصوره الغازيه نتيجه عمليه عكس التأزت denetrification حيث يتم إختزال النترات إلى مركبات غازيه بواسطة أنواع من البكتريا اللاهوائيه إختيارياً Faculative anaerobic Bacteria وفى عمليه عكس التأزت يختزل النيتروجين خماسى التكافؤ فى النترات تدريجياً إلى نيتروجين أقل فى التكافؤ كما يلى :

$$2NO_3^- \xrightarrow{-2[O]} 2NO_2^- \xrightarrow{-2[O]} 2NO \xrightarrow{-[O]} N_2O \xrightarrow{-[O]} N_2$$

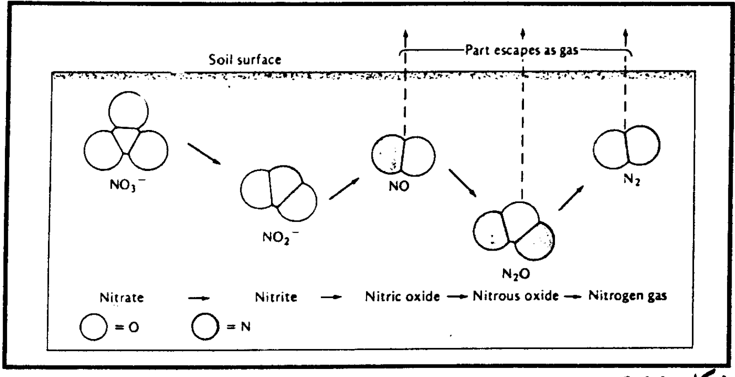
Nitrate ions (+5)	Nitrite ions (+3)	Nitric oxide (+2)	Nitrous oxide (+1)	Elemental nitrogen (0)

كل خطوة من خطوات التفاعل السابق تتم فى وجود إنزيم أختزال متخصص علماً بأن التفاعل يمكن أن يقف عند أى خطوة من خطوات التفاعل وينطلق الغاز فى صورة NO أو N_2O أو N_2 إلى الجو (شكل 14-6) .

(د) التثبيت البيولوجى للنيتروجين Biological Nitrogen Fixation

التثبيت البيولوجى للنيتروجين هو عمليه كيموحيويه يحدث فيها تحول عنصر النيتروجين إلى مركب نيتروجينى عضوى بواسطة عدد من الكائنات الحيه الدقيقه

مثل أنواع عديدة من البكتريا وبعض أنواع الأكتينوميسيتات والبكتريا الخضراء المزرقه Cyanobacteria .



شكل (14-6) :
يوضح كيفيه حدوث الإختزال في عمليه عكس التازت . البكتريا تأخذ الأكسجين من أيون النترات ويتبقى أيون النيتريت الذى بدوره يفقد أكسجين ويتحول إلى أكسيد النيتريك وهكذا .

وتقدر كمية النيتروجين المثبت على المستوى العالمى بحوالى 175 مليون طن سنوياً ولذلك فإنه يطلق على عمليه تثبت النتيروجين بأنها من أهم العمليات الحيويه على الأرض والتى تلى عملية التمثيل الضوئى فى الأهميه (جدول 14-2) .

جدول (14-2) التثبيت البيولوجي للنيتروجين من مصادر مختلفه .

الأستخدام	المساحه 10^6 ha	النيتروجين المثبت فى العام (10^6 Mg)
أرض منزرعة بالبقوليات	250	35
أرض منزرعة بغير البقوليات	1150	9
أراضى حشائش	3000	45
أراضى غابات	4100	40
أراضى غر منزرعه	4900	10
البحار	36100	36
المجموع	49500	175

ميكانيكية تثبيت النيتروجين mechanism of N fixztion

تتم عمليه تثبيت النيتروجين بوجه عام كما يلى :

١- إختزال غاز النيتروجين إلى أمونيا

$$N_2 + 6H + 6e^- \xrightarrow[\text{Fe, Mo}]{\text{(nitrogenase)}} 2NH_3$$

٢- تتحد الأمونيا مع الأحماض العضويه ويتكون أحماض أمينيه وبروتينات

NH_3 + Organic acids → amino acids → proteins

نظم تثبيت النيتروجين

يتم تثبيت النيتروجين بيولوجيا من خلال النظم التاليه وفى وجود أو عدم وجود النباتات كما يلى :

١. نظام تكافلى (تتكون فيه عقد بكتيريه) مع :
   أ - النباتات البقوليه legeumes .
   ب- النباتات غير البقوليه nonlegumes .

٢. نظام تكافلى لاتتكون فيه عقد بكتيريه .

٣. نظام لا تكافلى .

وعلى الرغم من أن النطام التكافلى مع البقوليات قد حظى بأهتمام الدارسين لفترة كبيرة . إلا أن الدراسات الحديثه أظهرت أهميه النظم الأخرى فى تثبيت النيتروجين. ولذلك فسوف نناقش باختصار نظم تثبيت النيتروجين .

(١) التثبيت التكافلى للنيتروجين

أ – النباتات البقولية Symbiotic Fixation with Legumes

يعتبر نظام المعيشة التكافلى بين البقوليات والبكتريا من جنس Rhizobium هو المصدر الرئيسى لتثبيت النيتروجين فى الأراضى الزراعيه . حيث تقوم البكتريا

Rhizobium بغزو الشعيرات الجذرية وتكوين عقد بكتيريه تعمل على تثبيت النيتروجين وإمداد النبات بحاجته من النيتروجين بينما يقوم النبات بإمداد البكتريا بحاجتها من المواد الكربوهيدراتيه والطاقه أى أن المنفعه هنا تبادليه .

تختلف أنواع البكتريا من الجنس Rhizobium والتى تكون العقد الجذرية بأختلاف نوع النبات البقولى . ويوضح الجدول رقم (3-14) أنواع Rhizobium المختلفه المصاحبه للنباتات البقوليه . وفى بعض المناطق التى يتم فيها زراعه البقوليات بانتظام نجد أن أعداد أنواع Rhizobium المتخصصه فى تثبيت النيتروجين غير كافيه ولذلك يجب تلقيح التربه أو تلقيح بذور البقوليات بالعقد البكتيريه المتخصصه .

جدول (3-14): بعض مجاميع النباتات البقوليه وأنواع Rhizobium المصاحبه .

المجموعه	نوع Rhizobium	النبات البقولى
البرسيم Clover	R. Trifolii	Trifolium spp. (Clover)
فول الصويا	R. Japonicum	Glycine max (Soybeans)
الفول	R. Phaseoli	Phaseolus vulgaris
البسله	R. Leguminosarum	Pisum (peas)
الترمس	R. Lupini	Lupinus (lupines)

ويتوقف معدل تثبيت النيتروجين على ظروف التربه والمناخ حيث يقل معدل تثبيت النيتروجين بزيادة محتوى التربه من النيتروجين الصالح للنبات أى أن تثبيت النيتروجين يحدث عندما يحتاج النبات إلى النيتروجين ولايمكنه الحصول عليه من التربه.

ب – النباتات غير البقوليه Symbiotic Fixation with nonlegumes

يوجد حوالى 160 نوع من النباتات غير البقوليه يمكنها تكوين عقد جذريه وتثبيت النتروجين تكافلياً وتتواجد أغلب هذه النباتات فى الغابات والأراضى الغدقه حيث تعمل الأكتينوميسيتات من نوع Frankia على غزو الشعيرات الجذرية لهذه النباتات وتكوين عقد جذريه بها . كما يمكن للبكتريا من النوع blue green bacteria (Nostoc) من تثبيت النيتروجين تكافلياً مع بعض أنواع

النباتات . ويوضح الجدول رقم (4-14) معدل تثبيت النيتروجين تكافلياً مع النباتات غير البقوليه بالمقارنه مع معدل تثبيت النيتروجين تكافلياً مع النباتات البقوليه .

جدول (4-14): مستويات تثبيت النيتروجين فى نظم التثبيت المختلفه .

النبات	الكائن الحى الدقيق	مستوى تثبيت النيتروجين (Kg N/ha per yr)
تكافلى		
١- بقوليات (تكون عقد)		
برسيم Clover	بكتريا Rhizobium	100-150
فول صويا		50-150
ترمس		50-100
فول		30-50
٢- غير بقوليه (تكون عقد)		
Alders	أكتينوميسيتات (Frankia)	
Gunnera	بكتريا خضراء مزرقه (Nostoc)	50-150
		10-20
٣- غير بقوليه (لاتكون عقد)		
Bahia grass	بكتريا (Azotobacter)	5-30
Azollce	بكتريا خضراء مزرقه (Anabaena)	150-300
لاتكافلى		
	بكتريا Azotobacter	5-20
	Clostridium	5-20
	بكتريا خضراء مزرقه	10-50

(٢) تثبيت النيتروجين تكافلياً بدون تكوين عقد جذريه

Symbiotic Nitrogen Fixation without Nodules

أظهرت الدراسات الحديثه وجود نظام تثبيت النيتروجين فى النباتات غير البقوليه بدون أن يتكون عقد جذريه ومثال ذلك قيام بعض أنواع البكتريا الخضراء المزرقه (Anabaena) بعمل عقد على أوراق الأزولا وتثبيت كميات كبيرة من النيتروجين (جدول رقم 4-14) وكذلك قيام البكتريا من النوع Azotobater بتثبيت

النيتروجين فى منطقة الجذور Rhizosphere بدون تكوين عقد جذريه مع النباتات غير البقوليه (الحشائش) وهذه البكتريا تستخدم افرازات جذور النباتات Root exudates كمصدر للطاقه ويتراوح معدل تثبيت النيتروجين فى منطقة الجذور بين 5-30 kg N/ha .

(٣) تثبيت النيتروجين لاتكافلياً

يوجد فى الأرض والماء أنواع عديدة من البكتريا التى تعيش معيشه حرة ولها القدره على تثبيت النيتروجين بدون الأعتماد على النباتات ومن أمثله ذلك البكتريا من جنس Azotobacter و Clostridium وبعض أنواع البكتريا الخضراء المزرقه . وتتوقف كمية النيتروجين المثبته لاتكافلياً تبعاً لدرجه حموضه التربه وكميه المادة العضويه فيها ومحتوى التربه من النيتروجين الصالح للنبات . وبوجه عام نجد أن كميـة النيتروجين المثبت لاتكافلياً أقل كثيراً من النتروجين المثبت تكافلياً مع البقوليات حيث تتراوح بين 3-15 kg N ha/yr (جدول 14-4) .

الفوسفور Phosphorus

يطلق عليه مفتاح الحياة حيث أنه ضرورى لكل الكائنات الحية وكل الخلايا فحياة الحيوان والنبات لاتتم بدونه .

أهميته :

للنبات

يشترك الفوسفور فى العمليات التالية :

١- تكسير الكربوهيدرات وإطلاق الطاقة .
٢- إنقسام الخلايا .
٣- نقل الصفات الوراثية من جيل إلى جيل .
٤- نمو الجذور .
٥- إنتاج الثمار والبذور .
٦- نقل الطاقة Energy transfer .

للأنسان والحيوان

يحتوى الإنسان البالغ على حوالى 1 كجم فوسفور مركزة فى العظم والأسنان بينما يحتوى الحيوان (الابقار) على حوالى 4.5كجم فوسفور ، الأبقار التى تدر اللبن تحتاج لكمية أكبر من الفوسفور وذلك لإحتواء اللبن على كميات كبيرة منه ولحسن الحظ فإن إحتياجات الأنسان والحيوان يمكن الحصول عليها من المراعى والغذاء الذى ينمو فى الأرض المحتوية على فوسفور وتسمد بالأسمدة الفوسفاتية .

الفوسفور فى الأرض

تختلف الأراضى فى محتوياتها من الفوسفور تبعا لعديد من العوامل أهمها المناخ ، مادة الأصل وتتراوح نسبة الفوسفور فى الأراضى بين 0.5% - 0.1 محسوبه على أساس P_2O_5 وإحتياطى العالم من الفوسفور الذى يمكن إستخراجه من مناجم الفوسفور إقتصاديا يقدر بحوالى 54.9 مليون طن ومعظم هذا الاحتياطى يوجد فى أفريقيا (مصر ، المغرب) والولايات المتحدة الأمريكية والإتحاد السوفيتى ويعتبر الأحتياطى الموجود كاف لتغطية الإحتياجات السمادية لعدة مئات من السنين .

صور الفوسفور فى الأراضى

يمكن تقسيم الفوسفور فى الأرض إلى :

١- فوسفور المحلول الأرضى .
٢- مركبات الفوسفور غير العضوى Inorganic phosphorus .
٣- مركبات الفوسفور العضوى Organic phosphorus .

أولا – فوسفور المحلول الأرضى

هذه الصورة من الفوسفور تعتبر المصدر الحقيقى للفوسفور الممتص بواسطة جذر النبات . فالنبات غالبا ما يمتص مباشرة من المحلول الأرضى على صورة أنيون الأورثوفوسفات الأحادى H_2PO_4 والثنائى HPO_4 وتركيز أنيون الفوسفات فى المحلول الأرضى هو ناتج الإتزان بين المحلول الأرضى والصور المعدنية للفوسفور . وتؤدى عملية التجوية إلى إنطلاق أنيونات الفوسفات من المركبات قليلة الذوبان (فوسفات الكالسيوم والمغنسيوم والحديد والألومنيوم) .

وتركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى منخفض جدا ويتراوح بين 0.01 إلى 0.06 جزء فى المليون ويمكن للنبات أن يحصل على إحتياجاته من الفوسفور من هذا التركيز شريطة ثباته . ولكى يمتص النبات الفوسفور فإن أنيونات H_2PO_4 , HPO_4 يجب أن تتحرك حتى تصل إلى سطح الجذر وهذه الحركة غالبا ماتتم عن طريق الإنتشار وقليل منها عن طريق الإعتراض الجذرى وجزء قليل أيضا يتم عن طريق التدفق الكتلى Mass Flow (جدول 14-5) .

جدول رقم (14-5): كمية الفوسفور التى يتم إمدادها لجذور نبات الذرة المنزرعة فى أرض لومية بواسطة الإنتشار والتدفق الكلى والإعتراض الجذرى .

الإمتصاص الكلى	الكمية الممتصة عن طريق		
	الإنتشار	التدفق الكلى	الإعتراض الجذرى
كجم / هكتار			
39	36	2	1

ثانيا – الفوسفور غير العضوى (المعدنى)

تحتوى المعادن غير العضوية العديدة التى توجد فى الأرض على عنصر الفوسفور وتتميز معظم مركبات الفوسفور غير العضوية التى توجد فى الأرض أو فى مادة الأصل بأنها ذات درجة ذوبان منخفض فى الماء ويتفاعل الفوسفور بسهولة مع مكونات الأرض مثل الكالسيوم والمغنسيوم والحديد والألمنيوم مكونا مركبات عديدة (جدول رقم 14-6) .

ويعتبر الفلوروأباتيت من المعادن الأولية غير الذائبة فى الماء ويوجد فى جميع الأراضى تحت أى ظروف تجوية . ومقاومة هذا المعدن لظروف التجوية يعد دليل على عدم ذوبانه . أما معادن الفوسفور المرتبط بالحديد والألومنيوم فهى قليلة الذوبان وتنتشر عادة فى الأراضى الحامضية .

ثالثا – الفوسفور العضوى

يوجد الفوسفور العضوى فى الأرض مرتبطا بالمادة العضويه وتمثل هذه الصورة العضويه جزءا من الفوسفور الكلى يتراوح من 80% - 30 . وهذه الصورة من

الفوسفور تعتبر غير صالحة للأمتصاص بواسطة النبات إذ يجب أن تتحول أولا إلى الصورة المعدنية فى عملية يطلق عليها معدنة الفوسفور العضوى Mineralization of organic phosphorus ويعتمد هذا التحول على قدرة الفطريات والبكتريا على تكسير المواد الكربوهيدراتية المحتوية على مركبات الفوسفور .

جدول (6-14): بعض أشكال الفوسفور غير العضوى بالأرض

Compound	Formula
Dicalcium phosphate dihydrate	$CaHPO_4 . 2H_2O$
Tricalcium orthophosphate	$Ca_3 (PO_4)_2$
Trimagnesium orthoposphate	$Mg_3 (PO_4)_2 . 22H_2O$
Octocalcium phosphate	$Ca_4H (PO_4)_3 . 3H_2O$
Fluoroapatite	$Ca_{10} (PO_4)_6 F_2$ or $[Ca_3(PO_4)_2]_3 . CaF_2$
Chloroapatite	$Ca_{10} (PO_4)Cl_2$ or $[Ca_3(PO_4)_2]_3 . CaCl_2$
Hydroxyapatite	$Ca_{10} (PO_4)_6(OH)_2$ or $[Ca_3(PO_4)_2]_3. Ca(OH)_2$
Ferric hydroxyphosphate	$Fe(H_2O)_3 (OH)_2H_2PO_4$
Dufrenite	$Fe_2(OH)_3 PO_4$
Vivianite	$Fe_3(PO_4)_2 . 8H_2O$
Aluminum hydroxyphosphate	$Al(H_2O)_3(OH)_2 H_2PO_4$
Wavellite	$Al_3 (OH)_3 (PO_4)_2 . 5H_2O$
Dihydrogen phosphate anion	$H_2 PO_4$
Monohydrogen phosphate anion	HPO^{2-}_4

عموما توجد ثلاثة مركبات فوسفور عضوية فى النباتات وهى نفسها التى توجد فى الأرض وتشمل :

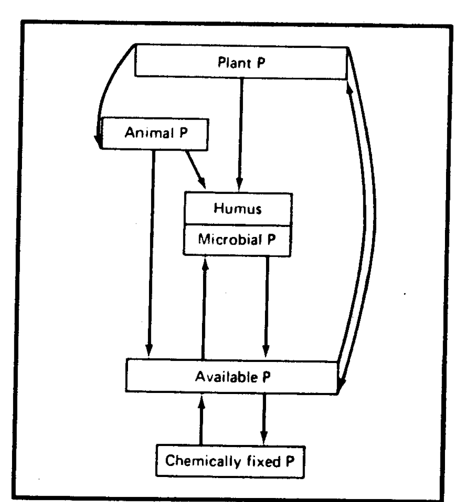
أ - الفيتين ومشتقاته Phytin

ب - الأحماض النووية Nucleic acids

ج - الدهون الفوسفاتية Phospholipids

معدنة الفوسفور العضوى

هى عملية تحول الفوسفور العضوى إلى غير عضوى وتعتمد أساسا علــى فعـل الفطريات والأكينوميسات والبكتريا التى تقوم بتكسير المركبات الكربوهيدراتية علـى فوسفور (شكل رقم 14-7) .



شكل (14-7):
دورة الفوسفور بالأرض وتشمل نشاط النباتات والحيوان وميكروبات الأرض.

العوامل التى تؤثر على معدنة الفوسفور العضوى :

١- معدنة الفوسفور العضوى تزيـد بزيـادة pH الأرض مـن الحامضيـة إلى القاعديـة ويعزى ذلك إلى زيادة النشاط الميكروبى عند درجات pH المتعادلة .

٢- تؤثر درجة الحرارة أيضا على معدنة الفوسفور العضوى حيث أنهـا تزيـد بزيـادة درجة الحرارة أعلى من 31°C .

٣- يمثل حامض الفيتيك والفيتين (أملاح الكالسيوم والمغنسيوم والألومنيوم لحـامض الفيتيـك Phytic) حـوالى 90% - 25 مـن الفوسـفور العضـوى وتقـل معدنـة الفـوسـفـور العضوى بزيـادة نسب حامض الفيتيك والفيتين فى الأرض وعموما

يزيد معدنة الفوسفور العضوى من الفيتين بزيادة درجة الـ pH وذلك لزيادة النشاط الميكروبى وعلى الرغم من ذلك نجد أنه فى الأراضى الجيرية تقل معدنة الفيتين وذلك لوجود كميات كبيرة من الكالسيوم فى هذه الأراضى مما يؤدى إلى تحويل التفاعل ناحية الفيتين .

٤- نسبة الكربون إلى الفوسفور فى المادة العضويه تؤثر على معدنة الفوسفور فالنسبة الأقل من 200 : 1 تساعد على المعدنة .

٥- توفر رطوبة مناسبة فى الأرض لازمة للنشاط الميكروبى تساعد على معدنة الفوسفور العضوى .

العوامل المؤثرة على إدمصاص وتثبيت الفوسفات بالأرض

نظرا لأهمية تفاعلات الإدمصاص والتثبيت على كيفية إضافة السماد الفوسفاتى إلى الأرض فان العوامل المؤثرة على هذه التفاعلات هى كما يلى :

١- نوع معدن الطين :

معادن الطين 1 : 1 تثبيت الفوسفور بدرجة أكبر من معادن الطين 1 : 2 فالأرض التى تحتوى على معدن الكاؤوليت سوف تثبت فوسفور أكثر من معادن الطين 1 : 2 .

٢- نسبة الطين فى الأرض :

الأراضى التى تحتوى على نسبة عالية من الطين سوف تثبت كمية من الفوسفور أعلى من الأراضى التى تحتوى على نسبة قليلة من الطين .

٣- زمن التفاعل :

كلما زاد زمن التلامس بين الفوسفور والأرض كلما زاد معدل تثبيت الفوسفور وهذا يختلف من أرض إلى أرض .

٤- درجة الحرارة :

سرعة التفاعلات الكيميائية تزيد بزيادة درجة الحرارة وعليه فان لها حرارة عالية تثبت فوسفور أكثر فى الأراضى ذات درجات الحرارة المنخفضة .

٥- رقم الـ pH :

فى معظم الأراضى فان الفوسفور الصالح يكون عند رقم pH تتراوح بين 7-5.5 ويقل إذا قل الـ pH عن 5.5 ويسدد ثلث الفوسفور عن طريق الإدمصاص أو الترسيب على هيدروكسيدات الحديد والألومنيوم الموجودة بكثرة فى الأراضى الحامضية أما اذا زاد رقم الـ pH عن 6 فان أيونات الكالسيوم والمغنسيوم ووجود الكربونات يسبب ترسب الفوسفور وتقل صلاحيته بالنسبة للنبات .

٦- المادة العضويه :

بتحلل المادة العضويه ينتج CO_2 الذى يستطيع بعد ذوبانه فى الماء مكونا حمض الكربونيك أن يذيب بعض مركبات الفوسفات الأرضية ومن جهة أخرى تؤدى زيادة المادة العضويه إلى تنشيط الكائنات الدقيقة وتكاثرها وتثبيت الفوسفور فى أجسامها .

البوتاسيوم Potassium

البوتاسيوم من أكثر العناصر شيوعا بالقشرة الأرضية وتتركز بعض المعادن الغنية فى البوتاسيوم فى بعض الأماكن فتعتبر مناجم تمد العالم بكميات كبيرة من أملاحه . والبوتاسيوم فى الطبيعة لا يتواجد أبدا فى صورة عنصرية (K) أو فى صورة أكاسيد بوتاسيوم (K_2O) وإنما يوجد متحدا مع عناصر أخرى . وأهم المعادن الأولية التى تعتبر مصادر أساسية للبوتاسيوم هى الأورثوكلاز والميكروكلين ($KAlSi_3O_8$)ثـو والمسكوفيت $KAl_2\ Si_3\ O_{10}\ (OH)_2$ والبيوتيت $K_2\ (Mg, Fe)_2\ Al_2\ O_{10}\ (OH)_2$.

وتركيب المعادن البوتاسية المهمة تجاريا موجودة بجدول رقم (14-7) وهذه المعادن تعتبر مصدر حوالى 95% من الأسمدة البوتاسية المنتجة سنويا . والسليفيت (KCl) يعتبر المصدر الأساسى لهذه الأسمدة البوتاسيوم .

جدول (14-7) : معادن البوتاسيوم الهامة تجاريا

Mineral	Composition	Approx plant nutrient content (%)	
		K_2O	K
Sylvite	KCI	63.2	52.5
Sylvinite (sylvite + halite)	KCI . NaCI mixture	Variable	Variable
Carnallite	KCI . MgCI . $6H_2O$	17.0	14.1
Kainite	KCI . $MgSO_4$. 3 H_2O	18.9	15.7
Langbeinite	K_2SO_4 . $2MgSO_4$	22.6	18.8
Nitre	KNO_3	46.5	38.6
Polyhalite	K_2SO_4 . $MgSO_4$. $2CaSO_4$ $2H_2O$	15.5	12.9

Source: K. C. Kapusta, " Potassium Fertilizer Technology. " In The Role of Potassium in Agriculture, American Society of Agronomy, Madison, Wis. (1968), PP. 23-52.

صور البوتاسيوم فى الأراضى

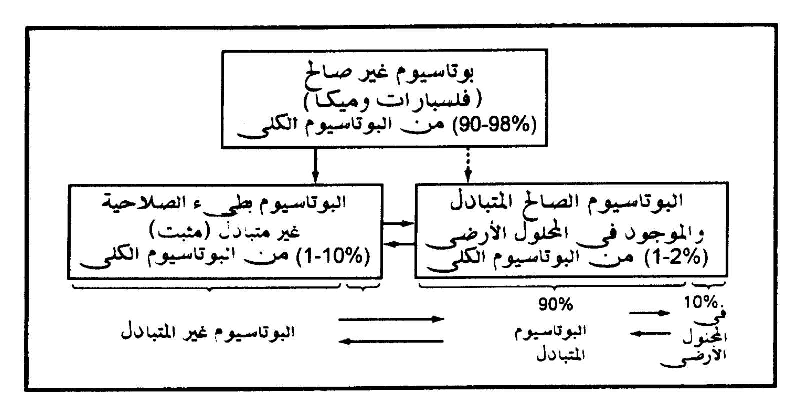
معظم الأراضى يوجد بها محتوى عال من البوتاسيوم الكلى ومع ذلك فإن كمية البوتاسيوم الصالحة لنمو النبات تعتبر صغيرة نسبيا . ويوجد إتزان بين صور البوتاسيوم المختلفة فى الأرض (شكل رقم 14-8) وهذه الصور يمكن تقسيمها من ناحية صلاحيتها للنبات إلى ثلاث :

١- غير صالحة نسبيا Relatively unavailable .

٢- بطيئة الصلاحية Slowly avilable .

٣- صالحة Readily available .

حوالى 98% - 90 من البوتاسيوم الموجود فى الأرض يكون فى صورة غير صالحة نسبيا للنبات وعليه فإن الأشكال الأخرى تعتبر مهمة جدا من وجهة نظر تغذية النبات وإنتاج المحاصيل .



شكل (14-8) : صور البوتاسيوم في الأرض .

البوتاسيوم غير الصالح نسبيا Relatively Unavailable Potassium

كما سبق ذكره فإن الجزء الأكبر من البوتاسيوم فى الأراضى يتواجد فى صورة غير صالحة نسبيا للنبات وهذه الصورة تتواجد أساسا فى المعادن الأولية مثل الفلسبارات والميكا . وسبب عدم صلاحية هذه الصور للنبات هو مقاومة المعادن السليكانية للتجوية وتكون النتيجة إنطلاق جزء صغير من البوتاسيوم فى موسم النمو الواحد ومع ذلك فإن هذه الصورة تعد غاية فى الأهمية حيث أنها تشارك مشاركة فعالة فى الصور الصالحة للنبات على المدى الطويل فهذه الصور تتحول تدريجيا إلى صور أكثر صلاحية للنبات من خلال تأثير المذيبات مثل الماء ، حمض الكربونيك، الأحماض العضوية على المعادن المحتوية بوتاسيوم .

البوتاسيوم بطيء الصالحية Slowly available potassium

ويتكون البوتاسيوم بطيء الصلاحية من البوتاسيوم المثبت فى معادن الطين مثل الايليت ، الفيرميكيوليت والكلوريت وكما نعلم فإن البوتاسيوم يوجد بين طبقتى السليكا (SiO_2) والألومينا (Al_2O_3) فى هذه المعادن . والبوتاسيوم الممسوك بهذه الطريقة لا يكون سهل الأنطلاق وكنتيجة لذلك فهو بطيء الصلاحية للنباتات النامية. والبوتاسيوم الموجود فى هذه الصورة لا يمكن إحلاله بعمليات التبادل

الكـاتيونى المعروفـة ويطلـق علـى هـذه الصـورة إســـم البوتاسـيوم المثبـت Fixed potassium أو الغير متبادل Nonexchangeable .

البوتاسيوم الصالح Readily Available potassium

والبوتاسيوم الصالح يكون نسبة ضئيلة من البوتاسيوم الكلى الموجود فـى الأرض ويتكون من شكلين :

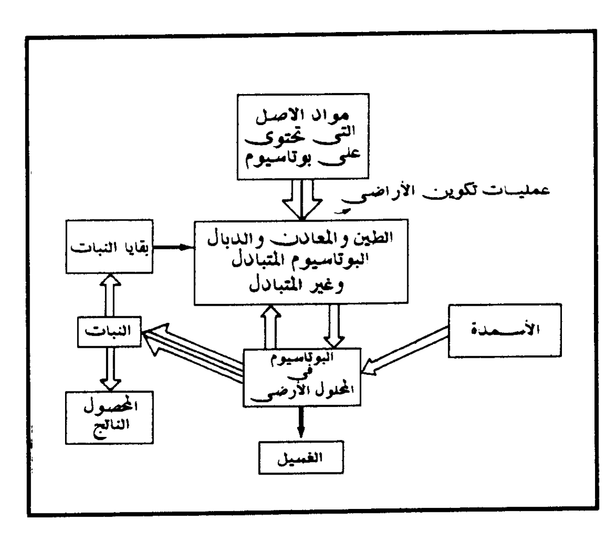
١- أيونات البوتاسيوم فى المحلول الأرضى .
٢- البوتاسيوم المتبادل والمدمص على سطوح غرويات الأرض والبوتاسـيوم المتبـادل يكون فى حـــالة إتزان ديناميكـــى مع بوتاسيوم المحلول الأرضى ولكن هذيــن الشكلين يمثلان جزءا صغيرا (2% - 1) من البوتاسيوم الكلى .

وبإمتصاص النباتات للبوتاسيوم من المحلول الأرضى فإن الإتزان الديناميكى بـين هذين الشكلين يتغير فتتحرك أيونات البوتاسيوم المتبادلة مباشرة مـن غرويـات الأرض إلى المحلول الأرضى وعند إضافة الأسمـدة البوتاسـية الذائبـة فـى المـاء إلى الأرض فـإن التفاعل يصبح عكسـى ويـزداد إدمصـاص البوتاسـيوم علـى غرويـات الأرض . ولأن البوتاسيوم يحدث له فقد من النظام الأرضى إما نتيجـة لإمتصـاص النبـات أو الغسـيل فإن تعبير الإتزان الديناميكى بين صور العناصر المختلفة يصبح هو الأقـرب للحقيقـة ، ويعتـبر بوتاسـيوم المحلـول الأرضـى والبوتاسـيوم المتبـادل همـا المصـــدران الرئيســيان للبوتاسـيوم الممتـص بواسـطة النباتـات والممكـن قياسـهما فـى الأرض لتقديـر كميـة البوتاسيوم الصالح للنبات فى أى أرض .

تثبيت وإنطلاق البوتاسيوم Potassium Fixation and Release

سبق ذكر أن كمية صغيرة من البوتاسيوم الكلـى تكـون صالحـة للنبـات وذلـك بسبب التفاعلات الموجودة بالشكل رقم (14-8) والتى تحـدث بإسـتمرار . وبإضافـة الأسمـدة البوتاسـية إلى الأرض فـإن البوتاسـيوم يذهـب أولا إلى المحلـول الأرضـى ثـم يتحول جزء كبير منه إلى الصورة المتبادلة وجزء أخر يتحول إلى الصورة غـير المتبادلـة وعندما تمتص النباتات البوتاسـيوم الصـالح مـن الأرض فـإن التفـاعل يصبـح عكسـى ويذهب جزء من البوتاسيوم المتبادل إلى المحلول الأرضى وكنتيجة حتميـة لذلـك فـإن عملية التثبيت والإنطلاق تحدث بإستمرار فى الأرض .

ودورة البوتاسيوم موضحة فى شكل (14-9) . فمن خلال عمليات التجويه فإن القوى الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية تؤثر على مادة الأصل وتقوم بتكسيرها إلى مكونات أدق مثل الرمل والسلت والطين . وكنتيجة لتفتيت مادة الأصل يحدث إنطلاق لبعض العناصر من بينها البوتاسيوم كما يحدث أيضا تكوين لمعادن الطين . والبوتاسيوم الموروث من مادة الأصل غالبا ما يكون فى صورة متبادلة وغير متبادلة . كما أن عمليات تثبيت وإنطلاق البوتاسيوم فى الأرض تعتمد بدرجة كبيرة على كميات السلت والرمل والطين الموجودة وكذلك على أنواع معادن الطين .



شكل (14-9) دورة البوتاسيوم فى الأرض

وتثبيت وإنطلاق البوتاسيوم فى الأرض له علاقة وثيقة بحجم حبيبات الأرض فنجد أن المعادن الموجودة فى المكون الرملى والسلتى فى الأرض - أساسا فلسبارات - قد تحتوى نسبة من البوتاسيوم ولكن نتيجة لكبر هذه الحبيبات فإنها تتكسر ببطء ويصبح إنطلاق البوتاسيوم بطىء . أيضا نتيجة للطبيعة الفيزيائية والمعدنية لهذه الحبيبات فإن مقدرتها على تثبيت البوتاسيوم تكون ضعيفة جدا .

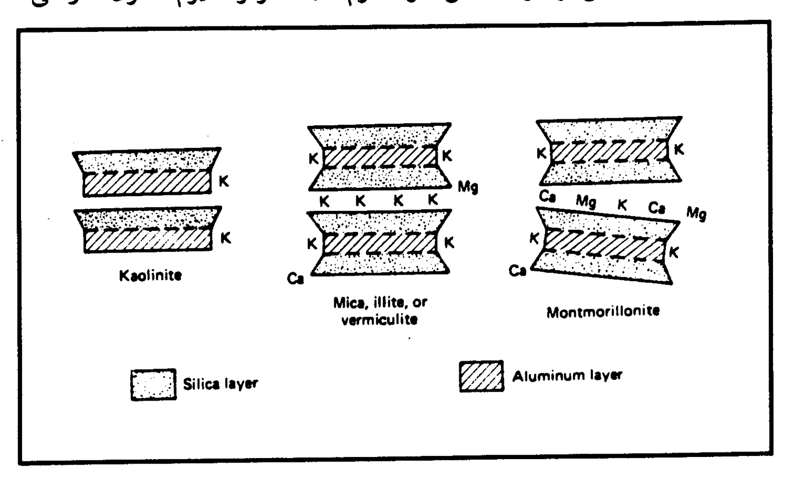
أ ـ معادن الطين Clay Minerals

تعتبر معـادن الطـين فـى الأرض نشـطة نسـبيا فـى تثبيـت وإنطـلاق البوتاسـيوم وتختلف معادن الطـين فيمـا بينهـا فـى مقدرتهـا علـى تثبيـت وإنطـلاق البوتاسـيوم . وللتوضيـح يمكـن تقسـيم معـادن الطـين الموجـودة فـى الأرض إلى ثلاثـة أنـواع : كاؤولينيت ـ (إيليت والفيرميكيوليت) ـ مونتموريللونيت وكل نوع من هذه الأنواع له خاصية خاصة من حيث مقدرته على تثبيت وإنطلاق البوتاسيوم كما أن كل منهم يحتوى على كمية مختلفة من البوتاسيوم بين طبقات الطين .

معادن الإيليت والفيرميكيوليت

معدنى الإيليـت والفـيرميكيوليت يتمـيزان بقدرتهمـا العاليـة علـى إدمصـاص البوتاسيوم من المحلول الأرضـى وتثبيتـه بـين طبقـات الطـين وذلـك نتيجـة للـتركيب البللورى لهما وأيضا لإرتفاع شحنة كل منهما (شكل 14-10) .

ويعتقد أن تثبيت البوتاسيوم فى كلا من الإيليـت والفـيرميكيوليت يتـم بطريقـة فيزيائية وذلك لثبات المسافة بين صفائح كلا منهما ، وأيضا نتيجـة لعـدم تمددهمـا . والبوتاسيوم المثبت فى هذين المعدنين لا يكون صالح للنبات ولكن يتم إنطلاقـه ببـطء إذا ما حدث وإنخفض تركيز كلا من البوتاسيوم المتبادل وبوتاسيوم المحلول الأرضى .



شكل (14-10) بناء معادن الكاؤولينيت والفيرميكيوليت والمونتموريللونيت

معدن الكاؤولينيت

يكون نسبة البوتاسيوم المنطلق فى الأراضى التى تحتوى على نسبة عالية من الكاؤولينيت أقل منها من تلك التى تحتوى على نسبة عالية من معدنى الإيليت والفيرميكيوليت ويلاحظ فى الشكل السابق أن معدن الكاؤولينيت لا يقوم بتثبيت البوتاسيوم بين طبقاته .

معدن المونتموريللونيت

لا يثبت هذا المعدن البوتاسيوم نتيجة لإنخفاض شحنته وكذلك لأن مصدر الشحنة يكون فى طبقة الأوكتاهيدرا أى أن مصدرها بعيد عن السطح . ولما كان معدن المونتموريللونيت يتمدد بالإحلال فإن المساحة السطحية المعرضة للإدمصاص الأيونى تكون كبيرة وعلى ذلك فإن معظم البوتاسيوم الموجود على سطوح معادن الطين يكون فى صورة صالحة للنبات وعموما يمكن القول أن تثبيت البوتاسيوم فى معادن المونتموريللونيت لا تعتبر مشكلة وأنما يعد هذا المعدن مخزن للبوتاسيوم الصالح.

وتؤثر مادة الأصل الناتجة عنها الأرض على نوع معدن الطين الموجود فى الأرض وكذلك على مقدرة الأرض لإمداد النبات بالبوتاسيوم فمثلا نجد أن الأرض التى من أصل جيرى Calcareous sheles تحتوى على كميات عالية من البوتاسيوم المتبادل وهذه الأراضى عموما تحتوى على بعض معادن الإيليت والفيرميكيوليت فى الطين الموجود بها بينما الأراضى التى من أصل Sandstone تكون ضعيفة فى قدرتها الإمدادية بالبوتاسيوم وذلك راجع إلى قلة نسبة المكون الطينى وإرتفاع نسبة معدن الكاؤوليت فى هذا المكون .

ب ـ السعة التبادلية الكاتيونية وصلاحية البوتاسيوم

Role of Cation Exchange Capacity (CEC) in Potassium Availability

يمكن التفكير فى السعة التبادلية الكاتيونية على أنه مقدرة الأرض على الأحتفاظ بالعناصر المغذية فنجد أن :

١- غرويات الأرض ذات الشحنة السالبة تقوم بإجتذاب الكاتيونات .

٢- أيضا الهيومس Humus ذو الشحنة السالبة يدمص بعض الكاتيونات .

٣- معادن الطين تشارك فى السعة التبادلية الكاتيونية وتتوقف هذه المشاركة على نوع معدن الطين السائد فى الأرض .
٤- المكون السلتى فى الأرض يوجد به عدد محدود من مواقع التبادل الكاتيونى .

ويعبر عن السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) بأنها عدد المليمكافئات من الهيدروجين التى يمكن أن تدمص بواسطة 100 جم أرض (جافة) وهذه السعة تتراوح بين أقل من 5 مليكافىء /100 جم فى الأراضى الرملية إلى أكثر من 100 مليكافىء/100 جم فى الأراضى التى بها نسبة عالية من الطين والمادة العضوية . وعموما يمكن القول أنه كلما زادت السعة التبادلية الكاتيونية للأراضى كلما حدث زيادة فى كمية البوتاسيوم المضافة للأراضى وذلك لإمداد النبات بالبوتاسيوم . ونجد أن أحد معامل إختبارات الأراضى فى أمريكا قامت بإعطاء توصيات أكبر للأراضى ذات السعة التبادلية العالية . (جدول رقم 14-8) .

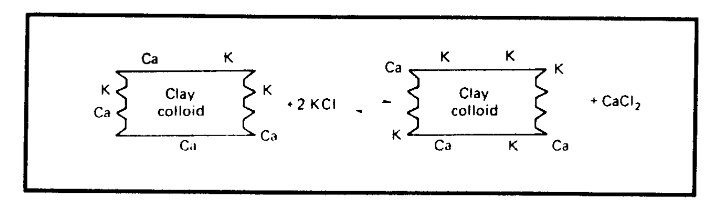
جدول (14-8) : توصيات التسميد البوتاسيومى وتأثرها بالسعة التبادلية

Soil Test Value (pp2m of K)	CEC (meq /100 g soil)		
	10	20	30
	K_2O as pp2m (Ib/A)		
50	130	150	170
150	90	110	130
250	50	70	90

pp2m = Parts per two million = Ib/A
Kg/ha = pp2m × 1.121 .
Source : B. L. Schmidt *et al.*, "Agronomy Guide," The Ohio State University, Coop. Ext. Serv. Bul. 472, 1978-79.

وتختلف السعة التبادلية الكاتيونية لمعادن الطين فنجد أن معدن الكاؤوليت له أقل CEC - (15- 5 مليكافىء/100 جم أرض) ، الإيليت 45 - 10 مليكافىء/100 جم أرض ، الفيرميكيوليت والمونتموريللونيت (150-60 مليكافىء/100 جم أرض). بينما السعة التبادلية الكاتيونية للهيومس تكون حوالى 140 مليكافىء/100 جم أرض.

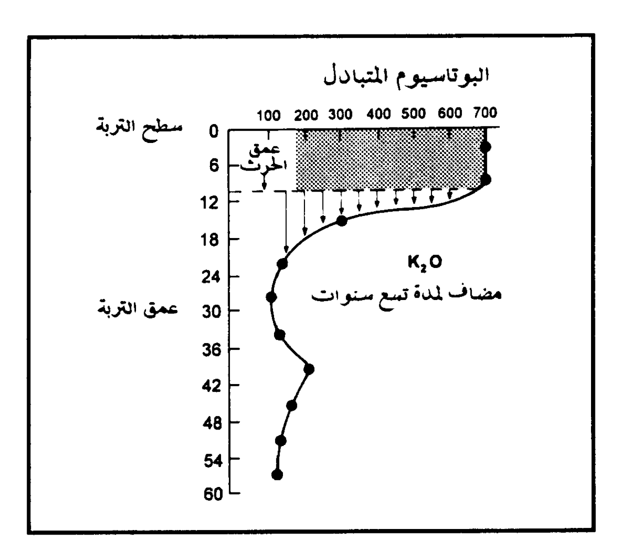
وتتواجد الكاتيونات عادة على سطوح وحواف معادن الطين والهيومس وذلك لكى يتم تعادل الشحنة السالبة الموجودة عليهم . وأهمية السعة التبادلية الكاتيونية فى الأراضى تكمن فى الحفاظ على مكونات الأسمدة مثل البوتاسيوم والأمونيوم والكاتيونات الأخرى من الفقد بالغسيل فالسعة التبادلية الكاتيونية ماهى الا وسيلة لتخزين البوتاسيوم والكاتيونات الأخرى لحين حاجة النبات اليها والتفاعل بين البوتاسيوم والكاتيونات الاخرى يطلق عليه إسم عملية التبادل الكاتيونى Exchange Cation (شكل رقم 14-11) .



شكل (14-11) : تفاعل التبادل الكاتيونى

فقد البوتاسيوم بالغسيل Potassium Leaching Losses

فقد البوتاسيوم خلال الأرض بواسطة الغسيل يعتبر عملية صعبة وذلك لأن أيون البوتاسيوم الموجب الشحنة يكون ممسوك بقوة على سطح حبيبات الطين سالبة الشحنة ولكن فى بعض الأراضى مثل الأراضى الرملية التى لاتحتوى على كمية كافية من الطين يمكن فقد البوتاسيوم بسهولة وكذلك فى حالة بعض الأراضى العضوية (Peats) ولذلك فهذه الأراضى غالبا ما تحتوى على كمية قليلة من البوتاسيوم الصالح للنبات وعموما فلقد أظهرت الدراسات أن كمية قليلة جدا من البوتاسيوم يمكن فقدها بالغسيل من الأراضى السلتية أو الطينية وفى دراسة أجريت فى تكساس بالولايات المتحدة الأمريكية على أراضى لومية رملية أظهرت النتائج أن كمية قليلة من البوتاسيوم يمكن أن تتحرك على عمق 46 سم بعد تسميد بوتاسى أستمر 9 سنوات وهذا يعنى إمكانية زيادة الإمداد بالبوتاسيوم الصالح وذلك بواسطة الأسمدة البوتاسية (شكل رقم 14-12) وكقاعدة عامة فإن زيادة الطين والمادة العضوية فى الأرض يعنى زيادة مقدرتها على الأحتفاظ بالبوتاسيوم كسماد .



شكل (14-12) : حركة البوتاسيوم فى الأرض بعد التسميد البوتاسيومى لمدة 9 سنوات .

العناصـــر الغـذائية الثانوية Secondary Nutrients

تعرف عناصر الكبريت والكالسيوم والماغنسيوم بأنها العناصر الثانوية التى تحتاجها النباتات بكميات متوسطة لتنمو نمواً طبيعيا علما بأن هذه العناصر الثلاثة لاتضاف للأرض كأسمدة أساسية .

الكالســيوم Calcium

يعتبر وجود الكالسيوم عامل أساسى فى تكوين الصفائح الوسطى لجدران الخلايا النباتية كما أنه يعمل كمرسب لبعض المواد السامة التى تنتج عن العمليات الحيوية فى النبات .

ويوجد الكالسيوم فى التربة على عدة صور :

١ - صورة أيونية ذائبة فى المحلول الأرضى .

٢- صورة متبادلة على معقد الإدمصاص .
٣- صورة أملاح بسيطة من الكالسيوم .

ويمتص النبات الكالسيوم من المحلول الأرضى ومن الصورة المتبادلة على معقد الإدمصاص ولما كانت معادن الكالسيوم فى التربة متوسطة الذائبية وتتواجد بكميات كبيرة فى الأراضى فإنه نادراً ماتعانى النباتات من نقص هذا العنصر .

الماغنسيوم Magnesium

يعتبر الماغنسيوم هام جداً بالنسبة للنبات حيث يدخل فى تركيب الكلوروفيل كما أنه يلعب دوراً هاما فى تثبيت العقد الجذرية للنيتروجين الجوى .

ويوجد الماغنسيوم فى القشرة الأرضية على صورة معادن الدولوميت (كربونات كالسيوم وماغنسيوم) ويوجد الماغنسيوم فى التربة على عدة صور هى :

١- صورة ذائبة فى المحلول الأرضى .
٢- صورة متبادلة على سطح حبيبات التربة .
٣- صورة معدنية داخلة فى التركيب البلورى للمعادن .

ويعتبر الماغنسيوم الذائب فى المحلول الأرضى والمتبادل هما أهم صور الماغنسيوم الصالحة للإمتصاص بواسطة النبات .

الكبريت Sulfur

يساهم الكبريت فى تكوين بعض المركبات الهامة للنبات مثل الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت والفيتامينات كما أنه يؤثر فى تكوين الكلوروفيل .

مصادر الكبريت فى التربة :

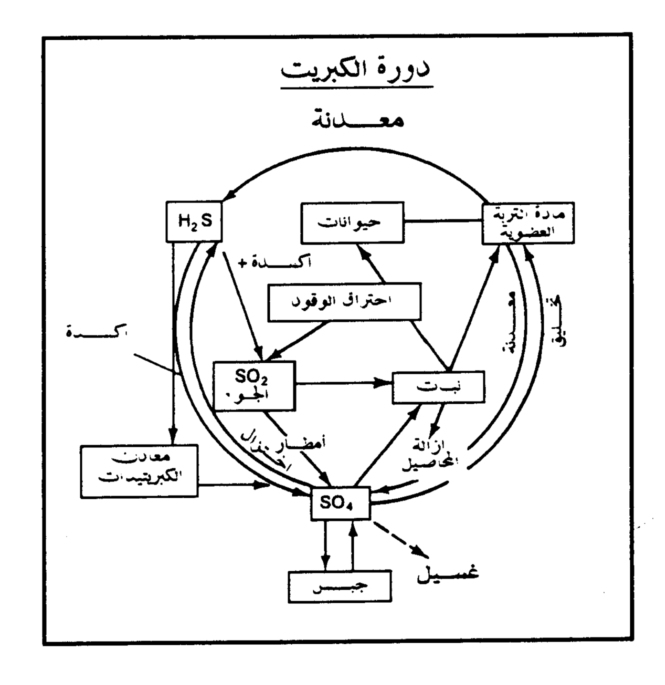
١. البقايا النباتية الغنية بالكبريت
٢. البقايا الحيوانية
٣. الأسمدة المعدنية المشتملة فى تركيبها على كبريت مثل السوبرفوسفات
٤. معادن التربة مثل البيريت Pyrite والجبس Gypsum
٥. غاز ثانى أكسيد الكبريت المضاف مع مياه الأمطار

دورة الكبريت :

تشمل دورة الكبريت عدداً من العمليات المختلفة هى :

١. معدنة الكبريت العضوى Mineralization
٢. تثبيت مركبات الكبريت فى أجسام الكائنات الحية Immobilization
٣. أكسدة مركبات الكبريت المعدنية Oxidation
٤. إختزال الكبريتات Sulphate reduction

والشكل (14-13) يوضح دورة الكبريت فى التربة .



شكل (14-13) : دورة الكبريت فى التربة

الزنك Zinc

لعنصر الزنك دور هام فى العديد من العمليات الحيوية وكذلك النظام الإنزيمى فى النبات .

صور الزنك فى التربة :

١ - الزنك المعدنى

يوجد الزنك فى الجزء المعدنى للتربة على هيئة معادن حديدومغنسيوم Ferromagnesium مثل معدن البيوتيت Biotite والهورنبلند Hornblend كذلك يوجد فى صورة كربونات زنك وكبريتيد زنك .

٢- الزنك المتبادل والمدمص

يرتبط الزنك بمواقع التبادل على أسطح غرويات التربة فى صورة أيونية Zn^{+2} أو ZnOH أو $ZnCl^{-}$ وتختلف المعادن فى قدرتها التفضيلية على إمتصاص هذه الصور الأيونية .

٣- الزنك الذائب فى محلول التربة

يكون الزنك أملاحاً ذائبة مع العديد من الأيونات السالبة مثل الكلوريدات والنترات والكبريتات .

ويتضح من السلوك الكيميائى للزنك فى التربة أن كلا من الصور الذائبة والمتبادلة تكون ذات صلاحية عالية للإستهلاك بواسطة النبات .

النحاس Copper

يدخل النحاس ضمن العديد من العمليات الفسيولوجية مثل عملية التمثيل الضوئى ويعتبر النحاس أحد مكونات الكلوروفيل وهو عنصر فعال فى عمليات الأكسدة والإختزال.

صــور النحاس فى التربة :

١- النحاس فى الحيز غير المستقر Labile copper

ويشمل النحاس الموجود فى التركيب البلـورى لمعـادن التربـة وكذلـك الداخـل ضمن مركبات النحاس المختلفة بالإضافة إلى النحاس المرتبط بواسطة أكاسيد التربة.

٢- النحاس المتبادل والمدمص

يرتبط النحاس بمواقع التبادل الأيونى فى التربة والصور السائدة فى الإرتباط هى أيون Cu^{+2} وأيون $CuOH^{+}$.

٣- النحاس المرتبط بالمادة العضوية

أكثر من 98% من النحاس الذائب فى المحلول الأرضى يرتبط مع المادة العضويـة مكونا معقدات ثابتة .

٤- النحاس الذائب فى محلول التربة

تركيز النحاس فى المحلول الأرضى قليل جدا وتعتبر الصورة الأيونية Cu^{2-} أكثر الصور إستقراراً فى حدود pH أقل من 7 .

وقد أوضحـت الدراسـات أن التغـذية المتوازنـة مـن عنـاصر النحـاس والحديـد والموليبدنوم هامة جداً وذلك لمنع ظهور أعراض نقص عنصر النحاس على النبات .

الـحـديـد Iron

أهمية الحديد للنبات ترجع إلى دخوله فى تركيب إنزيمـات التنفـس وهـو يعمـل كناقل للإلكترونات فى الأنظمة الإنزيمية التى تتم فيها تفاعلات الأكسدة والإختزال.

صور الحديد فى التربة :

١- الحديد الذائب فى المحلول الأرضى

محتوى محلول التربة من الحديد الذائب قليل جداً بالمقارنة مع المحتوى الكلى فى التربة ويوجد على هيئة صورة غير عضوية ذائبة مثل $Fe^{-3}, Fe^{+2}, Fe(OH)_2^{+}, FeOH^{+2}$ أو فى صورة عضوية ذائبة مثل معقدات الحـديد العضوية Fe-Organice Complexes.

٢- الحديد المتبادل

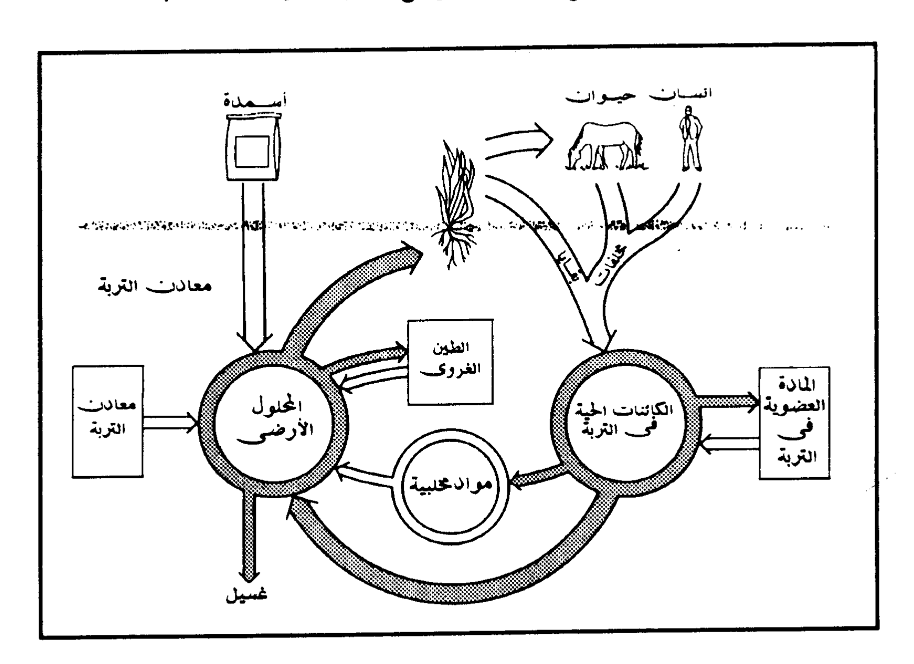
يوجد الحديد فى صورة أيونات متبادلة أى أنها مدمصة على أسطح غرويات التربة.

٣- الحديد المعدنى

أهم المعادن السائدة والمحتوية على عنصر الحديد هى :

الجيوثيت Goethite ، السيدريت Siderite ($Fe CO_3$) ، الألوفان .

ويعتبر صور الحديد الذائبة فى محلول التربة والموجودة بصورة عضوية أو معدنية ذات أهمية خاصة لكونها تمثل القسط الأكبر من الكمية الكلية الصالحة للنبات .



شكل (14-14) : دورة العناصر الصغرى فى التربة

المنجنيز Manganese

يشترك عنصر المنجنيز فى تكوين بعض الإنزيمات وله دور هام فى تفاعلات الأكسدة والإختزال وبالأخص تلك المرتبطة بعملية التمثيل الضوئى ولهذا فإن نقص عنصر المنجنيز يؤثر على تركيب الكلوروفيل وأيضا على تركيب الجدار الخلوى .

صور المنجنيز فى التربة

يوجد المنجنيز فى التربة فى ثلاث حالات من التكافؤ هى المنجنيز الثنائى التكافؤ (Mn^{2+}) ، المنجنيز الثلاثى (Mn^{3+}) ، المنجنيز الرباعى (Mn^{4+}) . وحالة التوازن بين هذه الصور الثلاثة تحدد الكمية النشطة والذائبة فى محلول التربة .

ويمكن القول بأن المنجنيز يوجد فى التربة بثلاث حالات تكافؤ وبصور متعددة يمكن إيجازها فيما يلى :

١- المنجنيز المعدنى

ويمثل المنجنيز الموجود فى معادن التربة ومركبات المنجنيز المختلفة مثل Rhodenite $MnSiO_3$ Manganite MnOOH وتعتبر هذه الصورة غير صالحة للنبات.

٢- المنجنيز المدمص

ويمثل المنجنيز المدمص بواسطة الأكاسيد الحرة وكذلك بواسطة المادة العضوية ولايمكن إعتبار هذا الجزء سريع الصلاحية للنبات .

٣- المنجنيز الذائب فى محلول التربة

وهذه الصورة تمثل الكمية البسيطة من المحتوى الكلى للمنجنيز فى التربة وهذا الجزء صالح للإمتصاص بواسطة النبات .

البورون Boron

عنصر البورون هام فى تغذية النبات لمساهمته فى تكوين البروتين والأحماض النووية وكذلك لمساهمته فى زيادة نشاط العمليات الحيوية التى يشترك بها الفوسفور.

صــور البـورون فى التربة

١ - البورون المعدنى

وأهم مركبات البورون المعدنية المنتشرة فى التربة هى :

$Na_2B_4O_4 . 10H_2O$ Borax, $Mg_3 (BO_3)_2$ Kotoite, $Na_2B_4O_7 . 4H_2O$ Kernite معدن التورمــالين $Na(Mg, Fe)_3\ Al_6(BO_3)_3$ Tourmaline ويعتـبر صـور البـورات المعدنية هو أقل مصادر البورون صلاحية للنبات .

٢ - البـورون المدمص

يرتبط البورون مع غرويات الأرض إما فى صورة حمض البوريك أو صورة أيون البورات $B(OH)_4^-$.

٣ - البورون فى المادة العضوية

يرتبط البورون مع المادة العضوية ويكون معقدات البورون العضوية .

٤ - البورون الذائب فى المحلول الأرضى

يوجـد البورون فى مـحـلول التربة بصـورة حمض البوريك H_3BO_3 ، $H_2BO_3^-$ بالإضـافـة إلى الأشـكال المتـأنية الأخـرى مـثل $B_4O_7^{2-}$ الذى يتكون من تحلل حمض البوريك . ويعتبر البورون الذائب فى محلول التربة مــن أهـم صـور البـورون الصالحة للإمتصاص بواسطة النبات .

الموليبدنوم Molybdenum

يعتبر عنصر الموليبدنوم مهماً لنشاط بعض الإنزيمات مثـل Nitrogenase وإنزيـم Nitrate reductase لذلك فهو يلعـب دوراً هامـاً فـى ميكانيكيـة تثبيـت النيـتروجين الجوى بواسطة إنزيم Nitrogenase .

صــور الموليبدنوم فى التربة

١ - الموليبدنوم المعدنى

ينـتـشـر الموليـبدنوم فى بعض معـادن التربة نتـيجـة للإحـلال المتمــاثل بين أيون

الموليبـدات (MO^{4+}) وأيـون الألومنيـوم (Al^{3+}) ولهـذا نجـد الموليبدنـــوم فـــى معـــادن الفلسبات والميكا .

٢- الموليبدنوم المدمص

يمكن للموليبدنوم أن يدمص على سطح غرويات التربة وفى هـذه الحالـة يكـون صالح للإمتصاص بواسطة النبات أو يدمص بواسطة أكاسيد الحديد ويكون معقـدات قليلة الذوبان كما يمكن للموليبدنوم أن يكون معقدات عضوية ذائبة وذلك بالتفـاعل مع المادة العضوية .

٣- الموليبدنوم الذائب فى المحلول الأرضى

تركيز الموليبدنوم الذائب فى المحلول الأرضى قليل جداً ولايتعدى واحد جزء فى المليون وهذا التركيز يتوقف على درجة pH التربة ويعتبر صور الموليبدنوم الذائبـة هـى أكثر الصور صلاحية للنبات .

الكلـوريد Chloride

يوجد الكلوريد فى التربة فى صورة مركبـات قابلـة للذوبـان فـى المـاء وعنصـر الكلور هو العنصر الغذائى الوحيد الذى لايحدث له تثبيـت فـى التربـة وزيـادة كميـة الكلور فى محلول التربة يقلل من إمتصاص أيونـات الفوسـفات والكبريتـات وعمومـا النباتات لاتعانى من نقص عنصر الكلور وإنما تعانى من زيادة هذا العنصـــر فـى التربـة حيث أن وجوده بكميات كبيرة يمكن أن يكون سام للنبات . وتختلـف النباتـات مـن حيث قدرتها على تحمل التركيزات العالية من الكلوريد .

الصـوديوم Sodium

إنضم الصوديوم أخيراً إلى مجموعة العنـــاصر الغذائيـة الضروريـة للنبـات ويعـزى أهمية الصوديوم للنبات إلى مقدرة الصوديـوم فـى الإحـلال محـل البوتاسـيوم والقيـام بوظائفه فى بعض النباتات . وفى المناطق شديدة البرودة يساعد الصوديوم على عـدم تجمد المحتويات المائية للخلية وذلك عند إنخفـاض درجـة الحـرارة إلى أقـل مـن الصفـر المئوى وبالتالى يمنع تكسيرها . كذلك يعمـل الصوديـوم علـى المحافظـة علـى التـوازن الأيونى فى محلول التربة .

الكوبـالت Cobalt

الكوبالت ضرورى لتكوين فيتامين B_{12} ويسـاعد علـى تثبيـت نيـتروجين الهـواء الجـوى بواسـطة العقـد الجذريـة للنباتـات البقوليـة ويوجـد الكوبـالت علـى صـــورة كاتيونات ثنائية Co^{2+} أو ثلاثيـة Co^{3+} ويـؤدى إرتفـاع درجـة ألـ pH (القلويـة) إلى إنخفاض صلاحية الكوبالت للنبات .

مراجع الفصل الرابع عشر

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Brown, K.W.; T.C. Thomas, and R.L. Duble (1982). Nitrogen Source Effect on Nitrate and Ammonium Leaching and Runoff Losses from Greens. Agron. J. 74: 947 - 950.

Bruulsema, T.W. and B.R. Christie (1987). Nitrogen Contribution to Succeeding Corn from Alfalfa and Red Clover. Agron. J. 67: 96 - 100.

Barber, S.A. (1974). A program for increasing the effeciency of Fertilizers. Solutions, March - April (1974), 24 - 25.

Eghball, B. and D.H. Sander (1989). Distance and Distribution Effects of Phosphorus Fertilizers on Corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 282 - 287.

Harmsen, K. and PLG Vlek. (1985). The Chemistry of Micronutrients in Soil. Fert. Res. 7: 1 - 42.

Munn, D.A.; L.P. Wilding, and E.O. McLean (1976). Potassium Release from Sand, Silt and Clay Soil Separates. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 364 - 366.

Rayan, J. (1983). Phosphorus and its Utilization in Soils of Dry Regions. Geoderma. 29: 341 - 354.

Rich, C.I. and W.R. Black (1964). Potassium Exchange as affected by Cation Size, pH, and Mineral Structure. Soil Sci. 97: 384 - 390.

Sekhon, G.S. (1983). Potassium Dynamics in the Soils of Semi-arid and Arid Areas. Proc. 17[th] Colloquim Int. Potash Inst. Morocco pp. 153 - 162.

Stout, P.R. (1972). Introduction to Micronutrient in Agriculture. Soil Sci. Society of America.

الفصل الخامس عشر

الأسمـــدة والتسـميـد

Fertilizers and Fertilization

- الأسمدة النيتروجينية
- الأسمدة الفوسفاتية
- الأسمدة البوتاسية
- أسمدة العناصر الصغرى
- الأسمدة المخلوطة
- إضافات الأسمدة
  - العوامل المؤثرة على نوع وكمية السماد المضاف



15

الأسمـــــــدة والتســـميـد

Fertilizers and Fertilization

عـرف استخدام مخلفـات حيوانـات المزرعـة كـأسمدة عنـد زراعـة الحـاصلات الزراعية منذ قديم الأزل ومع ذلك فـإن استخدام الأسمـدة الكيمائيـة بـدأ فقـط منـذ حوالى مائة عام . وتعتبر إضافـة الأسمـدة للأتربـة المنتجـة للحـاصلات الزراعيـة أحـد عوامل النمو الهامه والضرورية لزيادة الإنتاج الزراعى ولذلك فـإن استخدام الأسمـدة زاد زيادة ملحوظة فى الأعوام الأخيرة وإن كان يحد أستخدام الأسمدة الكيميائية الآن زيادة أسعارها بدرجة كبيرة كما أن أستخدام الأسمدة بكميات تزيد عـن أحتياجـات المحصول الغذائية قد يؤدى الى تلوث الماء والبيئة لذلك فإن استخدام الأسمدة بعنايه أمر مطلوب وحتمى لخفض تكـاليف الإنتـاج الزراعـى وأيضـا للحـد مـن التأثـير الضـار للأسمدة على البيئة .

عناصر السماد The Fertilizer Elements

تمد التربه النباتات النامية فيها بحوالى 14 عنصراً غذائيـاً أساسياً ومـن بـين هـذه العناصر يوجد ستة عناصر غذائية يطلق عليها العناصر الغذائية الكـبرى (النـتروجين ، الفوسفور ، البوتاسيوم ، الكالسيوم ، المغنسيوم ، الكبريت) كما تم ذكر ذلك سابقاً ، ويضـاف الى التربة عناصر الكالسيوم والمغنسـيوم والكـبريت كـأسمدة اذا مـا كـانت التربـة فقـيرة فـى هـذه العنـاصر الغذائيـة أمـا بـاقى العنـاصر الكـبرى الأخـرى وهـى النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم فعادة مـا يتـم إضـافتهم كـأسمدة للأتربـة الزراعيـة ويطلق على هذه العناصر الثلاثة إسم عناصر السماد .

وسوف نتناول بشئ من التفصيل أنواع الأسمدة المستخدمة فى الزراعة :

أولا – الأسمدة النتروجينية :

معظم الأسمدة الكيميائية النتروجينية هى مركبات للأمونيا تتكون صناعيا من إتحاد النتروجين مع الهيدروجين ويوضح الجدول رقم (15-1) الأسمدة النتروجينية شائعة الأستخدام. ويلاحظ إختلاف نسبة النتروجين من سماد الى آخر حيث يتراوح من حوالى 11% كما فى حالة سماد فوسفات أحادى الأمونيوم الى حوالى 82% كما فى سماد الأمونيا اللامائيه .

جدول (15-1) : الأسمدة النتروجينيه .

السماد	التركيب الكيميائي	٪ النيتروجين
نترات صوديوم	$NaNO_3$	16
نترات بوتاسيوم	KNO_3	13
كبريتات أمونيوم	$(NH_4)_2SO_4$	21
نترات أمونيوم	NH_4NO_3	33
نترات كالسيوم	$Ca(NO_3)_2$	15
يوريا	$CO(NH_2)_2$	45-46
سياناميد الكالسيوم	$CaCN_2$	22
أمونيا لامائيه	NH_3	82
محاليل نيتروجين	NH_4NO_3 + Urea in water	28-32
فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	11 (48% P_2O_5)
فوسفات ثنائى الأمونيوم	$(NH_4)_2HPO_4$	21 (53% P_2O_5)
عديد الفوسفات الأمونيومى	$(NH_4)_3HP_2O_7$; $NH_4H_2PO_4$; $(NH_4)_3H_2P_3O_{10}$	12-15 (60-62% P_2O_5)

والجدير بالذكر أن جميع الأسمدة النيتروجينيه المدونه بالجدول رقم (15-1) يمكن إنتاجها صناعيا من نيتروجين الهواء الجوى ولذلك فإن كمية النيتروجين الصالحة لإنتاج هذه الأسمدة هى كمية غير محدودة ولكن لسوء الحظ فإن الطاقه اللازمة لإنتاج وصناعة الأسمدة النيتروجينية عاليه جداً مما يحد من إنتاج هذه الأسمدة وفيما يلى سلوك وصفات الأسمدة النتروجينية .

الأمونيا ومحاليلها Ammonia and Its Solutions

يتكون غاز الأمونيا من عنصرى الهيدروجين والنتروجين تحت درجات حرارة وضغط عاليه جداً وفى وجود عامل مساعد مناسب .

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

ويعتبر الغاز الطبيعى هو المصدر الأساسى للهيدروجين بينما يعتبر الجو المصدر الأساسى للنيتروجين وتعتبرالأمونيا (NH_3) المتكونة من التفاعل السابق أرخص الأسمدة النيتروجينية الموجودة بالجدول رقم (15-1) وذلك بالنسبة لوحدة النيتروجين.

ويستخدم غاز الأمونيا (NH_3) كما يلى :

١) تحويل الغاز الى سائل وذلك تحت ضغط وينتج عن ذلك الأمونيا اللامائيه التى يمكن استخدامها مباشرة إما حقنا تحت سطح التربه أو مع ماء الرى .
٢) إذابة غاز الأمونيا فى الماء وينتج عن ذلك الأمونيا المائية (aqua ammonia) التى قد تستخدم لأنتاج بعض الأسمدة السائلة أو يتم أضافتها مباشرة الى التربة .
٣) يستخدم غاز الأمونيا (NH_3) لإنتاج بعض الأسمدة النيتروجينيه الأخرى .

ويوضح الشكل رقم (15-1) كيفيه وخطوات تصنيع الأسمدة النتروجينيه بإستخدام غاز الأمونيا (NH_3) .

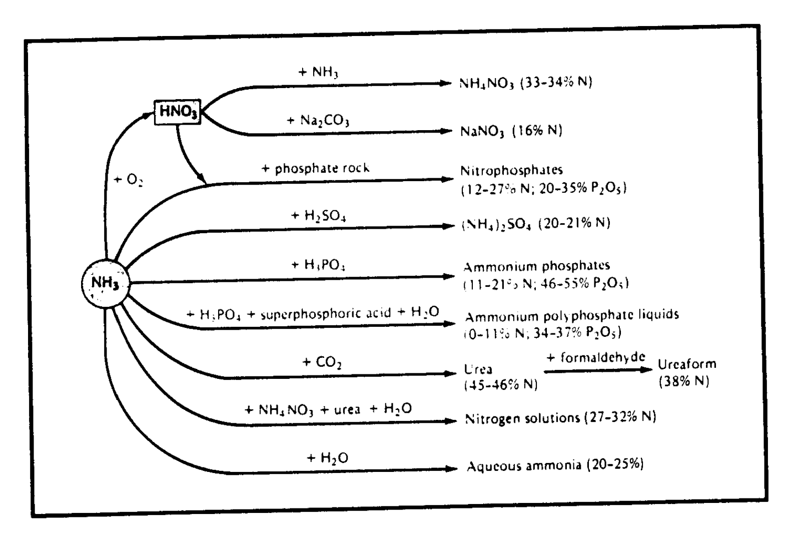
محاليل النيتروجين Nitrogen Solutions

تحضر محاليل النيتروجين بإذابة أملاح النيتروجين مثل نترات الأمونيا واليوريا فى الماء وتحتوى على N 28-32% وتضاف محاليل النتروجين مباشرة الى التربه وقد تستخدم لتصنيع بعض الأسمدة السائلة أوالمخلوطة .

اليوريا Urea [$CO(NH_2)_2$]

ينتج سماد اليوريا من تفاعل الأمونيا مع غاز ثانى أكسيد الكربون تحت درجات ضغط وحرارة مرتفعة وهذا السماد يحتوى على حوالى N 45% ويعتبر من أكثر الأسمدة النيتروجينية إستخداما . وتتحلل اليوريا مائيا فى التربة منتجة كربونات أمونيوم .

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{Ureas}} (NH_4)_2CO_3$$



شكل (1-15) : يوضح كيفيه تصنيع الأسمدة النتروجينية من غاز الأمونيا .

ويساعد على إنحلال اليوريا مائيا وجود إنزيم اليورييز بكثرة فى معظم الأتربة . وكربونات الأمونيوم الناتجه هى مركب غير ثابت عند درجات pH أعلى من 7.0 ويمكن أن تنحل الى أمونيا وثانى أكسيد الكربون لذلك يجب خلط هذا السماد بالتربه وعدم إضافته الى السطح حتى لايفقد جزء كبير من الأمونيا بالتطاير كما يمكن إستعمال مثبطات لإنزيم اليورييز لخفض درجة إنحلال اليوريا مائيا ومثال ذلك إضافة 2.5 dimethyl - benzoquinone بمعدل 2.3% الى اليوريا وهذا أيضا يعمل على خفض تأثير الأمونيا السام على البادرات عند وضع اليوريا على مقربة منها .

الأسمدة النتراتيه Nitrates

وأمثلتها نترات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والأمونيوم وتعتبر هذه الأسمدة جيدة الذوبان فى الماء لذلك فإنها تمتص بسرعة بواسطة النبات عند إضافتها للتربه وأيضا تكون معرضه للفقد بالغسيل وخاصة فى الأتربه خشنة القوام .

نترات الصوديوم

ويوجد هذا السماد فى صورتين احداهما مستخرجه من رواسب طبيعيه بشيلى ويحتوى على كميات بسيطه من العناصر الدقيقه مثل البورون أما الصورة الأخرى فتصنع من تفاعل حمض النيتريك مع كلوريد الصوديوم أو كربونات الصوديوم وهو عموما قلوى التفاعل .

نترات البوتاسيوم

ويصنع عن طريق تفاعل النيتريك مع كلوريد البوتاسيوم وهذا السماد قلوى التفاعل .

نترات الكالسيوم

وتصنع بتفاعل حمض النيتريك مع كربونات الكالسيوم وهذا السماد يعتبر أحد النواتج الثانويه لصناعه الأسمدة الفوسفاتيه .

فوسفات الأمونيوم Ammonium Phosphates

ويعتبر من الأسمدة الهامه لإحتوائها على عنصرى الفوسفور والنتروجين وهو من الأسمدة جيدة الذوبان فى الماء ولذلك تستخدم اما فى صوره سائله أو صلبه .

الأسمدة النتروجينيه بطيئه الانطلاق Slow- Release Nitrogen carriers

تمتص المحاصيل حوالى 60-70% من نيتروجين الأسمدة المضافه ويرجع ذلك الى فقدالأمونيا بالتطاير أو تثبيت الأمونيوم بواسطة معادن الطين أو عن طريق الفقد بالغسيل مع ماء الصرف ولذلك إتجه البحث نحو سماد نيتروجينى يطلق مابه من نيتروجين ببطء يتناسب مع سرعه نمو ووصول الجذر اليه وإمتصاصه له خلال فتره نموه . ومن أمثلة هذه الأسمدة سماد يوريا فورمالدهيد الذى يحتوى على حوالى 38% N وللأسف فإن ارتفاع سعر هذا السماد يحد من استخدامه .

ولخفض درجة إنطلاق النتروجين يمكن تغطيه حبيبات السماد بغطاء من الشمع أو البارافين أو الكبريت لخفض ذوبان السماد وكذلك مهاجمة مكيروبات التربه له حيث أن هذه المواد تحد من درجة اختراق الماء لحبيبه السماد وبالتالى تخفض حركة النتروجين الذائب .

ثانيا – الأسمدة الفوسفاتيه

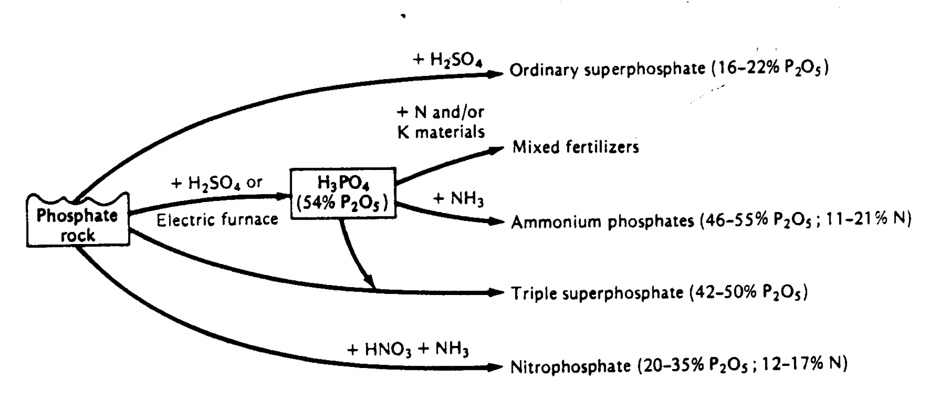
صخر الفوسفات Phosphate Rock

يعتبر صخر الفوسفات هو المصدر الرئيسى لصناعة الأسمدة الفوسفاتيه وهو صخر رسوبى ، المعدن السائد فيه هو :

Francolite (Calcium Carbonate-Flouroapatite-$Ca_{10}\,F_2(PO_4)_6 \cdot \chi\,CaCO_3$)

ويحتوى على %35-20 فوسفور على شكل P_2O_5 . وتوجد ترسيبات صخر الفوسفات فى شمال أفريقيا واستراليا والهند وصحارى أسبانيا ويوجد فى مصر فى إسنا وعلى سواحل البحر الأحمر حول القصير وسفاجه . واستعمال صخر الفوسفات فى حالته الطبيعيه كسماد له قيمة محدودة بالنسبة للنبات ولاينتج عن إضافته المحصول الأعظم حيث أن الفوسفور الموجود فى صخر الفوسفات يكون فى صورة غير صالحة للنبات لهذا يتضح أهميه تصنيعه بغيه الحصول على أعلى عائد ممكن والعمليات الأساسية التى تجعل الفوسفور فى صخر الفوسفات صالح للنبات هى المعامله بالحراره والمعامله بالأحماض وكلتا العمليتان تعملان على هدم بناء الأباتيت غير الذائب وينتج عنه فوسفور أكثر ذائبيه وبالتالى أكثر صلاحيه للإمتصاص بواسطة النبات .

والشكل رقم (2-15) يوضح كيفيه تصنيع الأسمدة الفوسفاتيه من صخرالفوسفات .



شكل (2-15) : خطوات تصنيع الأسمدة الفوسفاتيه بأستخدام صخر الفوسفات

سوبر فوسفات العادى

يستخدم تعبير سوبر فوسفات Super Phosphate للدلاله على شكل الفوسفور الصالح للنبات وتتم صناعة سماد سوبر فوسفات العادى وذلك بخلط حمض الكبريتيك مع صخر الفوسفات المطحون كما فى التفاعل التالى :

$$[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2 + 7H_2SO_4 \rightarrow 3Ca(H_2PO_4)_2 + 7CaSO_4 + 2HF$$

صخر الفوسفات   حمض الكبريتيك   فوسفات أحادى الكالسيوم   جبس   حمض هيدروفلوريك

ويحتوى سماد سوبر فوسفات العادى على 16-20% فوسفور على صورة P_2O_5، حوالى 50% جبس والباقى شوائب مختلفه .

وعلى الرغم من أحتواء سماد سوبر فوسفات العادى على نسبة قليله من الفوسفور إلا أنه يعتبر مصدر ممتاز للفوسفات لأن أغلب الفوسفور الموجود به (حوالى 85%) يكون ذائب فى الماء وعامه يوجد 3 أشكال للفوسفور تتم إضافتها للأرض عند أستخدام سماد سوبر فوسفات العادى وهى $H_2PO_4^-, HPO_4^{-2}, PO_4^{-3}$ وكما سبق ذكره فإن حوالى 85% من محتوى هذا السماد يكون فى صورة $H_2PO_4^{-2}$ الذائب فى الماء والباقى يكون على صورة HPO_4^{-2}, PO_4^{-3} غير الذائبين فى الماء .

حمض الفوسفوريك Phosphoric Acid

يصنع حمض الفوسفوريك بنفس طرقه صناعه سماد سوبر فوسفات العادى مع أستخدام كمية زائدة من حمض الكبريتيك والناتج هو عبارة عن سائل حمض الفوسفوريك كما فى التفاعل التالى :

$$Ca_{10}F_2(PO_4)_6 + 10H_2SO_4 + 20H_2O \rightarrow 10CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2HF + 6H_3PO_4$$

وحمض الفوسفوريك المنتج بهذه الطريقه يحتوى على حوالى 52-54% P_2O_5 ويستخدم فى تصنيع الأسمدة المخلوطه . كما أن كبريتات الكالسيوم الناتجه يمكن استخدامها كسماد ويحتوى على كالسيوم وكبريت .

حمض سوبر فوسفوريك Super Phosphoric Acid

ويتم تصنيعه من حمض الفوسفوريك وذلك بتركيزه كما فى التفاعل التالى :

$$2H_3PO_4 \xrightarrow{\Delta} H_4P_2O_7 + H_2O\uparrow$$

ويحتوى حمض سوبر فوسفوريك على نسبة P_2O_5 تصل الى 76% (جدول 2-15) ويستخدم هذا الحمض فى صناعة الأسمدة الفوسفاتيه الأمونيوميه كما يستخدم فى إنتاج أسمدة سائله تحتوى على نسب عاليه من الفوسفور وحمض سوبر فوسفوريك يعادل سماد سوبر فوسفات المركز كمصدر فوسفورى لنمو النبات .

جدول (2-15) : الأسمدة الفوسفاتيه

السماد	التركيب الكيميائى	P_2O_5 (%)	P (%)
سوبر فوسفات	$Ca(H_2PO_4)_2$; $CaHPO_4$	16-50	7-22
فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	48-55 (11-12%N)	21-24
فوسفات ثنائى الأمونيوم	$(NH_4)_2HPO_4$	46-53 (16-18%N)	20-23
عديد الفوسفات الأمونيومى	$(NHH_4)_3HP_2O7$; $(NH_4)_3H_2P_3O_{10}$	58-60 (12-15%N)	25-26
مسحوق العظام	$Ca_3(PO_4)_2$	23-30	10-13
صخر الفوسفات	فلورو وكلورهيدروكسى أباتيت	25-40	11-17
ميتافوسفات الكالسيوم	$Ca(PO_3)_2$	62-63	27-28
حمض الفوسفوريك	H_3PO_4	52-54	22-24
حمض سوبر فوسفوريك	H_3PO_4 , $H_4P_2O_7$; $H_5P_3O_{10}$	68-76	29-33

سوبر فوسفات مركز Triple SuperPhosphate

يتم تصنيع سماد سوبر فوسفات المركز بإضافة صخر الفوسفات وحمض الفوسفوريك فى آن واحد ثم خلطهم باستمرار كما فى التفاعل التالى :

$$Ca_{10}(PO_4)_6 F_2 + 14H_3PO_4 + 10H_2O \rightarrow 10CaH_4(PO_4) . H_2O + 2HF$$

ويحتوى سماد سوبر فوسفات المركز على 48% P_2O_5 واستخدمت كلمة

Triple لأن سماد سوبر فوسفات العادى عند بداية إنتاجه كـان يـحتوى علـى 16% P_2O_5 بينما المركز منه يحتوى على ثلاثة أمثال السوبر العادى .

ويستخدم هذا السماد فى صناعة الأسمدة المخلوطه كمـا أن 35% مـن الأسمـدة الفوسفاتيه المستخدمه هى عبارة عن سوبر فوسفات مركز ويعتبر هذا السماد مصـدر جيد للفوسفوروعادة ما يعطى زيادة فى المحصول قدرها 90% أكثر مـن سمـاد سـوبر فوسفات العادى .

فوسفات الأمونيوم Ammonium Phosphate

ويتم تصنيعه بإضافة الأمونيا الى حمض الفوسـفوريك السـائل ليكـون فوسـفات أحادى الأمونيوم monoamonium phosphate كما فى التفاعل التالى :

$$NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow NH_4H_2PO_4$$

فوسفات أحادى الأمونيوم

ويحتوى فوسفات أحادى الأمونيوم على حـوالى 11% نـتروجين ، 48% P_2O_5 وإضافة زيادة من الأمونيوم يؤدى الى تكوين فوسفات ثنائى الأمونيوم (يحتوى علـى 16-18% نيتروجين ، 48% P_2O_5) كما فى التفاعل التالى :

$$2NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow (NH_4)_2HPO_4$$

فوسفات ثنائى الأمونيوم

وجميع عناصر هذا السماد تعتبر ذائبه فى الماء وهى ميزة يمكن أستغلالها لتسـميد المحاصيل سريعة النمو مثل الخضروات ويراعى عـدم إضافـة هـذا السـماد مـع البـذور حتى لايسبب ذلك أضراراً للبذور .

الأسمدة الفوسفاتيه وصلاحيه الفوسفور للنبات

تتفاعل الأسمدة الفوسفاتيه مع مكونـات التربـه لتكـون مركبـات عديـدة وهـذه المركبات يطلـق عـليـها نواتـج تفـاعل السـماد بـالأرض Soil-fertilizer reaction product وهى التى تـحدد كمـية الفـوسـفـور الصالح لنمو النبات فمثلاً نواتج إضافة

سوبرفوسفات العادى تختلف عن نواتج إضافة سماد الفوسفات الأمونيومى Ammonium phosopate وسوف نتناول بشئ من الإيجاز الميكانيكية والتفاعلات والنواتج التى تحدث عند إضافة بعض الأسمدة .

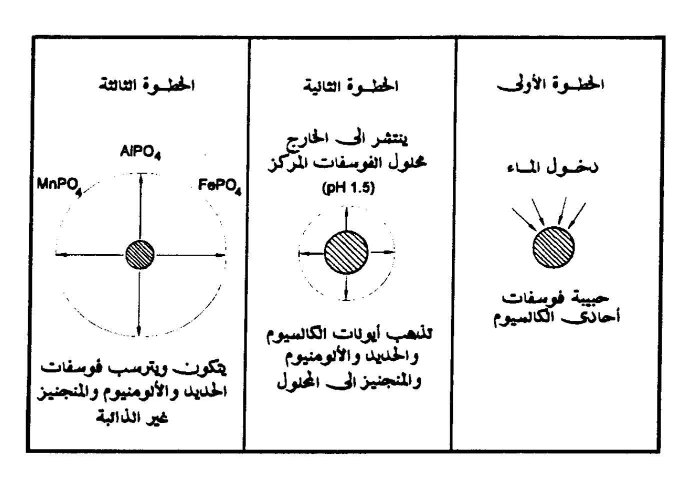
فوسفات أحادى الكالسيوم Monocalcium phosphate

١) عند إضافة سماد يحتوى على نسبة عالة من فوسفات أحادى الكالسيوم الى الأرض فإن الماء يتحرك بسرعة الى كل حبيبه من حبيبات السماد والمحلول المتكون يكون مشبعاً بكلا من فوسفات أحادى الكالسيوم وفوسفات ثنائى الكالسيوم وهذا المحلول المتكون يكون حمضى جداً pH = (1.5) .

٢) عندما يتحرك المحلول من حبيبة السماد الى حبيبات التربه يحدث تغير فى الظروف الكيميائيه للأرض ينتج عنها ذوبان لبعض مكونات الأرض وهذه المكونات تشمل الكاتيونات المتبادلة والأكاسيد المتبادلة، وكربونات الأرض ، المادة العضوية .

٣) وكنتيجة للتركيز العالى من السماد ، والأيونات الموجودة به يصبح المحلول الأرضى فوق مشبع بالنسبة للفوسفور ويتفاعل مع مركبات الحديد والأمونيوم والمنجنيز فى الأتربه الحمضيه وتترسب هذه المركبات بمرور الوقت أما فى الأتربه القاعدية فإن الفوسفات قد يترسب على صورة فوسفات ثنائى الكالسيوم على سطوح حبيبات كربونات الكالسيوم أو قد تتفاعل أيونات الفوسفات مباشرة مع أيونات الكالسيوم الموجودة فى المحلول الأرضى وتكون فوسفات ثنائى الكالسيوم وقد تتكون بعض كميات صغيرة من الهيدروكسى أباتيت .

وكنتيجة لتفاعلات الترسب والتلامس بين حبيبات التربه فإن المحلول السمادى يصبح مخفف وبذلك يتحول التفاعل من تفاعل ترسيب الى تفاعل إدمصاص، وعند إضافة ماء الرى فإن الماء يتخلل المناطق التى أضيف اليها السماد ويحدث أن بعض المركبات المتكونة تذوب وجزء من المركبات الذائبه يحدث لها ترسيب مرة أخرى والمتبقيه تمتص بواسطة النبات وبمرور الوقت تصبح الصورة المدمصة والمترسبة فى حالة ثبات وتوزان بحيث يمكن أن تعتبر كقوة إمدادية للفوسفور فى المحلول الأرضى .



شكل (3-15) تفاعل حبيبة السوبر فوسفات مع التربه

فوسفات ثنائى الكالسيوم Dicalcium phosphate

عندما يضاف سماد يحتوى أساساً على فوسفات ثنائى الكالسيوم غير الذائب فى الماء فإن المحلول السمادى لايتكون وعلى ذلك فالخطوات السابقه لاتتم وبالتالى فإن الفوسفور الصالح يقل بالنسبة للنبات .

فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate

عند إضافة فوسفات الأمونيوم الى الأرض فإن المحلول يتحرك خارج الحبيبه كما فى حالة فوسفات أحادى الكالسيوم وعلى ذلك فلايوجد بقايا من فوسفات ثنائى الكالسيوم لعدم وجود كالسيوم فى السماد ولكن سوف يتكون فوسفات ثنائى الكالسيوم خاصة فى الأراضى المحتويه على كمية كبيرة من الكالسيوم المتبادل ودرجة الـ pH للمحلول المشبع لـ Diammonium phosphate هى [9]، Monoammonium هى [4] وهذا الأختلاف فى الرقم الهيدروجينى للمحلول المشبع يؤثر على نوع ونواتج التفاعل .

ثالثا – الأسمدة البوتاسية Potassium Fertilizers

يمكن تلخيص مصادرالأسمدة البوتاسية المستخدمة فى الزراعه فى الجدول رقم (15-3) .

جدول (15-3) : الأسمدة البوتاسيه شائعة الإستخدام

السماد	التركيب الكيميائي	K_2O (%)	K (%)
كلوريد بوتاسيوم	KCl	48-60	40-50
كبريتات بوتاسيوم	K_2SO_4	48-50	40-42
كبريتات بوتاسيوم ومغنسيوم	$K_2SO_4 + MgSO_4$ (25%)		
نترات بوتاسيوم	KNO_3	44 (13% N)	37

كلوريد البوتاسيوم Potassium Chloride (Muriate of Potash)

يحتوى سماد كلوريد البوتاسيوم على حوالى 51% بوتاسيوم ، 47% كلور وكميات قليلة من المغنسيوم والكالسيوم والصوديوم والحديد والبورون وهو سماد ذائب فى الماء . ويعتبر سماد كلوريد البوتاسيوم من أكثر الأسمدة البوتاسية إستخداما فى العالم فحوالى 78% من الأسمة البوتاسية تكون على صورة كلوريد البوتاسيوم . وعادة ما تعانى الأتربه الرمليه من نقص فى البوتاسيوم بينما الأتربه الأخرى فى المناطق الجافه تحتوى على كميات كافيه من البوتاسيوم فى صورة صالحة للنبات . ويعد سماد كلوريد البوتاسيوم من أرخص الأسمدة البوتاسية الموجودة فى الأسواق .

كبريتات البوتاسيوم Potassium Sulfate

يتم تصنيع سماد كبريتات البوتاسيوم بإضافة حمض الكبريتيك الى كلوريد البوتاسيوم ثم إضافة زيادة من كلوريد البوتاسيوم الى الناتج والتسخين كما فى التفاعلات التاليه :

$$KCl + H_2SO_4 \rightarrow KHSO_4 + HCL$$

$$KCl + KHSO_4 \rightarrow K_2SO_4 + HCL$$

ويحتوى هذا السماد على حوالى 43% بوتاسيوم ، 16% كبريت وحوالى 2.5% كلوريد وكميات قليلة جداً من الصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم والبروم .

إستجابة المحاصيل لهذا السماد تعادل الأستجابة لسماد كلوريد البوتاسيوم وإن كان خواص بعض المحاصيل مثل الدخان والبطاطس والذره تتحسن بإضافة السماد البوتاسى على صورة كبريتات البوتاسيوم نظراً لحساسيه هذه المحاصيل للتركيزات العاليه من الكلوريد .

جدول (15-4) تحليل سماد كبريتات البوتاسيوم

Constituent	Percent
K_2O (Potash)	52.00
K_2SO_4	96.20
Potassium	43.17
Sodium	0.49
Calcium	0.02
Magnesium	0.06
Chlorine	1.80
Sulfate	53-65
Bromine	0.02
Water - in soluble material	0.32
Moisture	0.02
Total	100.00

كبريتات البوتاسيوم والمغنسيوم Sulfate of Potassium - Magnesia

وهذا السماد يتم تصنيعه من خام لانجبينيت Langbenite (K_2SO_4-$2MgSO_4$) وذلك عن طريق الطحن والغسيل لإزالة أملاح الكلوريد ويحتوى هذا السماد على حوالى18%بوتاسيوم ، 11% مغنسيوم ، 23% كبريتات وغالبا ما يستخدم هذا السماد كمصدر للبوتاسيوم والمغنسيوم (جدول 15-4) .

نترات البوتاسيوم Potassium Nitrate

يتم تصنيع هذا السماد بإضافة حمض النيتريك الى كلوريد البوتاسيوم كما فى التفاعل التالى :

$$4KCl + 4HNO_3 + O_2 \rightarrow 4KNO_3 + 2Cl_2 + 2H_2O$$

ويعتبر هذا السماد أقل ذائبيه من كلوريد البوتاسيوم فى الماء البارد ولكنـه أكـثر ذائبيه من كبريتات البوتاسيوم أما فى درجة حـراره الغرفـه فتسـاوى ذائبيـه كـلا مـن نترات البوتاسيوم وكلوريد البوتاسـيوم ويحتـوى سمـاد نـترات البوتاسـيوم علـى 13% بوتاسيوم ، ويستخدم هذا السماد بنجاح كمصدر للنيتروجين والبوتاسيوم لكـل مـن محاصيل الذرة والبطاطس والطماطم والموالح .

إضافة الأسمدة البوتاسيه Application of Potassium Fertilizers

بوجه عام يجب إضافة الأسمدة البوتاسـيه عنـد الحاجـه اليهـا قبـل الزراعـه كمـا ينصح بعدم خلط هذه الأسمدة مع البذور وذلك لتلافـى الإضـرار بهـا ويمكـن إضافـة هـذه الأسمـدة علـى بعـد 5 سـم مـن البـذرة ويستحسـن إضافـة السـماد البوتاسـى للمحاصيل ذات موسم نمو طويل على دفعتين .

أما فى حالة الأتربه الرمليه فينصح بإضافة الأسمدة البوتاسيوم على دفعات وذلك لتقليل الفقد بالغسيل .

رابعاً – أسمدة العناصر الصغرى Micronutrients

يجب إضافة أسمدة العناصر الصغرى الى الأتربه بحذر شديد وذلك لصغـر الفـرق بين مستويات نقص العنصر ومستويات سميـه العنـاصر . وبالتـالى فـإن هـذه العنـاصر يجب إضافتها فقط عند الحاجة اليها وبالكميات المناسبة .

وعادة ما تضاف أسمدة العناصر الصغرى وذلك لتصحيـح نقـص هـذه العنـاصر فعناصر النحاس والمنجنيز والحديد والزنك فيتم إضافتهم على صورة أملاح الكبريتات أما البورون فيضاف على صورة بوراكس (بورات صوديوم) والموليبديم يضاف أيضاً على صورة موليبدات صوديـوم (جـدول رقـم 15-5) . وغالبـاً مـا يتـم رش عنـاصر الحديد والمنجنيز والزنك بكميات قليله على الأوراق وذلك فى صورة مخلبيه أو علـى صورة أملاح الكبريتات .

وتستخدم المواد المخلبيه المحتويه على عناصر الزنك والمنجنيز والحديـد والنحـاس فى الأتربه القاعديه ونظراً لإرتفاع أسعارهذه المواد المخلبيه فيفضل إضافتها رشاً على الأوراق نظراً لإستخدام معدلات إضافة أقل .

جدول (5-15) : أملاح العناصر الصغرى شائعه الإستخدام كأسمدة

المركب	التركيب الكيميائي	محتوى العنصر (٪)
بورات الصوديوم(بوراكس)	$Na_2B_4O_7 . 10H_2O$	11
أكسيد النحاس	CuO	75
كبريتات النحاس	$CuSO_4 . 5H_2O$	35
كبريتات الحديديك	$Fe_2(SO_4)_3 . 4H_2O$	23
كبريتات الحديدوز	$FeSO_4 . 7H_2O$	19
أكسيد المنجنيز	MnO	41-68
كبريتات المنجنيز	$MnSO_4 . 4H_2O$	26-28
موليبدات الأمونيوم	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} . 2H_2O$	54
موليبدات الصوديوم	$Na_2MoO_4 . 2H_2O$	39
أكسيد الزنك	ZnO	80
كبريتات الزنك	$ZnSO_4 . 7H_2O$	23

ويمكن إضافة أسمدة العناصر الصغرى على صورة سائله وذلك للأتربـه الزراعيـه المعروف إحتياجاتهـا السـماديه . ووجـود عديـد الفوسـفات **Polyphosphates** فـى الأسمدة السائله يعمل على منع ترسيب العناصر الصغرى على صورة مركبات الحديـد غير الذائبه . وإضافة أملاح العناصر الصغرى الى الأسمدة السائله يعمـل علـى خفـض تكلفه السماد المضاف .

الأسمدة المخلوطه Mixed Fertilizers

يستخدم الزراع منذ سنوات عديدة الأسمدة المخلوطة وهـى تلـك الأسـمدة التـى تحتوى على عنصرين سماديين على الأقل وعادة ماتحتوى على ثلاث عنـاصر سمـاديه (النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) ويوجد نوعين من الأسمدة المخلوطه :

أ) أسمدة مخلوطه على صورة صلبه Bulk Blending

وفى هذه الحاله يتم خلط الأسمدة التى تحتوى علـى عنـاصر سماديـه فرديـه فـى صوره صلبه مع بعضها بنسـب معينـه وتعبئتهـا وبيعهـا إلى المزارعـين وعمليـة الخلـط تؤدى الى خفض تكلفة العمـاله والتخـزين والنـقـل وكذلك خفض تكاليف الإضافه

كما يمكن فى حالة الأسمدة المخلوطه إضافه بعض أسمدة العناصر الدقيقه. والأسمدة المستخدمه فى عمل الأسمدة المخلوطه فى صورة صلبه هى : اليوريا - نترات الأمونيوم - كبريتات الأمونيوم - فوسفات الأمونيوم - سوبر فوسفات المركز وكلوريد البوتاسيوم .

ب) الأسمدة السائلة Liquid Fertilizers

وفى هذه الحاله يتم خلط الأسمدة فى صورة سائله وذلك أيضاً لخفض التكلفه حيث أن هذه الأسمدة تعبأ فى تنكات ويتم ضخها مباشرة فى الحقل وفى حاله الأسمدة السائلة غالباً ما يستخدم حمض الفوسفوريك كمصدر للفوسفور .

تأثير الأسمدة المخلوطة على درجة حموضة التربه

Effect of Mixed Fertilizers on Soil pH

بعض الأسمدة لها تأثير حمضى على الأتربه والبعض الآخر له تأثير قاعدى على التربه . فتعمل الأسمدة الأمونيوميه أو الأسمدة المنتجه للأمونيوم عند إضافتها للتربه على رفع درجة حموضه التربه وذلك نتيجة للتفاعل التالى :

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow 2H^+ + NO_3^- + H_2O$$

وبوجه عام فإن الأسمدة الفوسفاتيه والبوتاسيه لها تأثير ضعيف جداً على درجة حموضه التربه مالم تحتوى هذه الأسمدة على عنصر النيتروجين .

وفيما يلى بيان بقدرة الأسمدة المكونه للحموضه مقدره بكمية كربونات الكالسيوم (كيلوجرام) اللازمه لمعادلة الحموضه الناتجه من إضافة 20kg N من هذه الأسمدة :

كبريتات أمونيوم	107	يوريا	36
أمونيا لامائيه	36	نترات أمونيوم	36

كما أن قدرة بعض الأسمدة المكونه للقاعديه مقدره بنفس الطريقه السابقه هى كما يلى :

نترات صوديوم	36	نترات كالسيوم	27
نترات بوتاسيوم	86	سيناميد كالسيوم	57

حركة العناصر السماديه فى التربه

Movement of Fertilizer elements in the Soil

حركة العناصر السماديه فى التربه لها أهميه تطبيقيه كبيره فمثلاً عنصر الفوسفور والمركبات التى تحتوى عليه تتحرك حركة ضعيفه جداً فى التربه ولذلك يجب وضع سماد هذا العنصر فى منطقه الجذور لكى تتم الإستفاده منه بواسطة النبات حيث أن إضافة هذا العنصر الى سطح التربه يؤدى الى عدم وصول هذا العنصر الى الجذور العميقه وبالتالى تقل إستفادة النبات منه . أيضاً ونتيجة لأن الفوسفور عنصر غير متحرك فى التربه نجد أن الفاقد منه عن طريق الغسيل يكون قليلاً للغايه .

وفى حالة عنصرى البوتاسيوم والنتروجين نجد أن أملاح البوتاسيوم والنترات تعتبر متحركة وغالباً ما تكون حركتها رأسية Vertical حيث تتحرك أملاح البوتاسيوم والنترات إلى أعلى أو إلى أسفل تبعاً لإتجاه حركة الماء وبالتالى فإن حركة الأملاح تؤثر على زمن وطريقة إضافة البوتاسيوم والنتروجين . فمثلاً نجد أن إضافة النيتروجين مرة واحدة فى الموسم يكون غير مرغوب فيه حيث أن الفقد بالغسيل يكون كبيراً. أيضاً إضافة محاليل النتروجين واليوريا الى بعض الأتربة قد يمثل مشكلة نتيجة فقد الأمونيوم بالتطاير. ويجب الأخذ فى الإعتبار حركة عنصرى النتروجين والبوتاسيوم عند إضافة الأسمدة وذلك بالنسبة للبذور حيث أن إضافة هذه الأسمدة على السطح أو فوق البذور مباشرة قد يؤدى الى أضرار لتلك البذور وخاصة للمحاصيل التى تزرع فى خطوط .

إضافة الأسمدة فى الصورة الصلبة Application of Solid Fertilizers

يجب إضافة الأسمدة الى التربه بالطريقة التى تضمن حصول النبات على أقصى إستفادة ممكنه وهذا يشمل ليس فقط طريقه الإضافه وإنما أيضاً زمن الإضافة .

(i) المحاصيل المنزرعة فى خطوط :

تسمد بعض المحاصيل التى تزرع فى خطوط مثل القطن والذرة والبطاطس وذلك بإضافة جزء من السماد عند الزراعة وعادة مايتم وضع السماد على جانبى الخط جوار البذاره بحوالى 5-6 cm وإلى أسفل قليلاً . أما عندما يكون كمية السماد الواجب إضافتها كبيرة مثل محاصيل الخضر فيستحسن خلط جزء من السماد مع التربه مثل الزراعة مع إضافة الجزء الآخر فى منتصف موسم الزراعه .

(ii) محاصيل الحبوب الصغيرة :

ومثال ذلك القمح وتسمد هذه المحاصيل بوضع كمية صغيرة من السماد ملاصقة أو ملامسة تماما لبذرة النبات وطالما أن تركيز السماد فى هذه الحاله يكون صغيراً وأيضاً الكميه المضافه مع البذره تكون قليله فإن تأثير السماد الضار على البذره يكون منعدماً. أما إذا كان تركيز السماد عالى فلا ينصح بإضافته مع البذره حيث يمكن أن يسبب ذلك ضرراً شديداً للبذره .

(iii) محاصيل الأعلاف

تسمد محاصيل الأعلاف وذلك بنثر السماد مباشرة على الأرض أثناء خدمة الأرض وقبل الزراعة .

(iv) الأشجار

تسمد أشجار الموالح وذلك بإضافة السماد لكل شجرة على حدة وذلك على عمق معين من سطح الأرض وحول كل شجرة بحيث تصل الى جذور النبات مع ماء الرى أى أن الأسمدة يجب إضافتها فى منطقة الجذور .

إضافة الأسمدة السائله :

تضاف الأسمدة السائلة بثلاث طرق رئيسيه هى :

(١) إضافة مباشرة الى التربة .
(٢) الإضافة مع ماء الرى .
(٣) رش أوراق النباتات .

(١) الإضافة مباشرة إلى التربة Applied Directory to Soil

الإتجاه الى إضافة الأسمدة السائله مثل الأمونيا اللامائيه ومحاليل النتروجين والأسمدة المخلوطة مباشرة الى التربه آخذ فى التزايد فى الآونة الأخيرة وبخاصة فى الولايات المتحدة الأمريكية ويجب فى هذه الحاله مراعاة حقن الأمونيا اللامائيه فى التربه لمنع فقد الأمونيا بالتطاير. ويعتبر الحقن على عمق يتراوح من ٥ سم إلى ١٥ سم مناسباً لهذه المحاليل .

(٢) الإضافة مع ماء الرى Applied in Irrigation Water

يمكن إضافة الأسمدة السائلة مثل الأمونيا السائله ومحاليل النتروجين وحمض الفوسفوريك مع ماء الرى كما يمكن إذابة الأسمدة المخلوطة فى ماء الرى وإضافتها للتربه عند الرى . وإضافة الأسمدة بهذه الطريقة يعمل على خفض تكاليف إضافة الأسمدة وإن كان يجب مراعاة فقد الأمونيا بالتبخير . وإستخدام الرى بالتنقيط يؤدى إلى زيادة كفاءة الأسمدة المضافة مع ماء الرى حيث أن ماء الرى المحتوى على الأسمدة يصل مباشرة إلى منطقة الجذور مما يتيح الإستفادة الكاملة للنبات من الأسمدة .

(٣) الإضافة بالرش على أوراق النبات Applied As Spray on Leaves

زاد الإهتمام فى الوقت الحاضر بإستخدام طريقة رش النبات بالأسمدة السائله التى تحتوى على العناصر الغذائيه الكبرى والصغرى كطريقة جديدة للتسميد خصوصا فى أتربة المناطق الجافة ونصف الجافه حيث يعانى النبات درجات متفاوته من نقص العناصر الغذائيه ويمكن إضافة الأسمدة السائله بهذه الطريقه مع المبيدات الحشرية وأثبتت التجارب فعاليه هذه الطريقه وخاصة لأشجار الموالح والتفاح .

العوامل المؤثرة على نوع وكمية السماد المضاف :

قبل إضافة السماد يجب التأكد من عدم وجود عوامل تحد من إستجابة النبات للتسميد فمثلاً زيادة أو قلة المحتوى الرطوبى للتربه يمكن أن يؤثر على كفاءة عملية التسميد كما أن ملوحة التربه قد تؤدى الى نفس النتيجه . ويوجد عدة عوامل تؤثر على نوع وكمية السماد المضاف مثل :

(أ) النوع والقيمة الإقتصادية للمحصول المنزرع

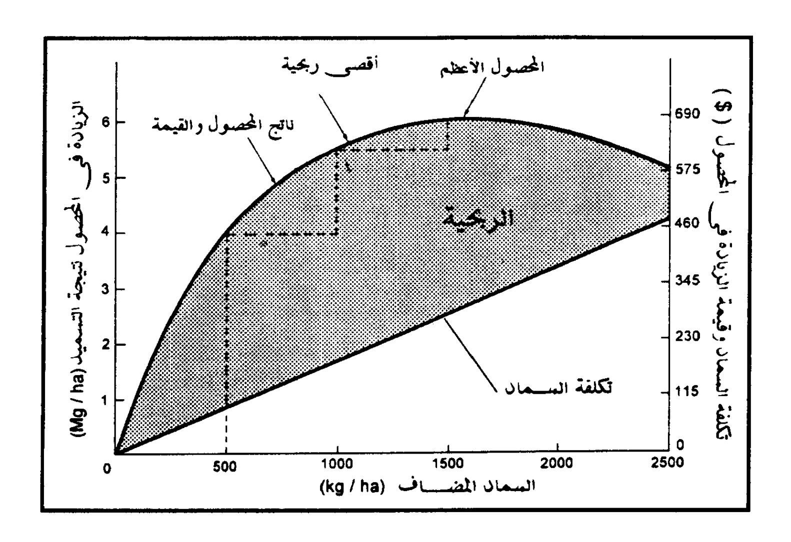
Kind and Economic Value of Fertilized Crop

يتوقف نوع وكمية السماد المضـاف على مـدى إسـتجابة المحصـول لإضافـات السماد وأيضاً على القيمة الإقتصاديه للمحصول المسـمد . فمثـلاً يسـتجيب محصـول الذره إستجابه عاليه للتسميد النتروجيني وينعكس ذلك على العائد الإقتصـادى وفـى هذه الحاله فإن التسميد النتروجيني للذره يعتبر ضرورة واجبه . أيضاً محـاصيل الخضـر تعطى عائداً كبيراً عند تسميدها بمعدلات عاليه من السماد لذلك فإن تسميد محاصيل الخضر بمعدلات عاليه حوالى 1500 kg/ha يعتبر عمليه شائعة لأن العـائد الإقتصـادى لهذه الإضافات يكون كبيراً . وعلى وجه العموم فإن كمية السـماد المضـاف تتوقـف على النسبة بين قيمة المحصول الناتج إلى قيمة السماد المضـاف ويوضـح الجـدول رقـم (6-15) أن إرتفـاع هـذه النسبة يعنى إمكانيـة إضافـة معـدلات عاليـه مـن السـماد والحصول على ربحيه نتيجة ذلـك أمـا إذا كـانت هـذه النسـبة منخفضـه فـإن إضافـة معدلات عالبه من التسميد تكون غير إقتصاديه .

جدول (6-15) : إضافات النتروجين الإقتصاديه لمحصول الذره محسوبه على أساس النسبه بين قيمة المحصول وقيمة السماد المضاف.

Corn/nitrogen price ratio	Profitable nitrogen rate(kg/ha) to reach each of four yield potential			
	6.3 Mg/ha	8.2 Mg/ha	10.0Mg/ha	12.0 Mg/ha
5:1	101	123	157	191
10:1	123	157	202	235
15:1	135	179	224	269
20:1	146	191	235	280
25:1	157	202	247	291

ويجب ملاحظة أن المحصول الأعظم المتحصل عليه نتيجة الإضافات المتزايدة مـن السماد ليس بالضرورة هو المحصول الذى يعطى أكبر عائد إقتصادى. وبعبارة أخـرى فإن قانون العامل المحدد هو الذى يحدد كمية الأسمدة المضافـه بغـض النظـر عـن نـوع المحصول المنزرع (شكل 15-4) .



شكل (15-4) :

يوضح العلاقه بين كمية السماد المضافه ، الزيادة فى المحصول وتكلفه السماد والربحيه الناتجه من إضافة الأسمدة . ويلاحظ أن إرتفاع الربحيه عند إضافه 500 kg الأولى كانت أعلى من الإضافة الثانيه أو الثالثه . ويلاحظ أيضا أن أقصى ربحيه تم الحصول عليها عند إضافة معدل سماد أقل من المعدل الواجب إضافته للحصول على أعلى محصول.

(ب) محتوى التربه من العناصر الغذائيه Nutrient Contents of Soils

لتقدير نوع وكمية السماد الواجب إضافته فإنه يجب معرفه محتوى التربه من العناصر الغذائيه ومدى النقص فى هذه العناصر وبصفه عامه فإن المحتوى الكلى للعناصر فى التربه لايعطى أى دلاله على كميه العناصر الغذائيه الصالحه للإمتصاص بواسطة النبات . وبالتالى فإنه يجب إستخدام التحاليل الكيميائيه التى تقدر فقط العناصر الصالحه للإمتصاص بواسطة النبات .

مراجع الفصل الخامس عشر

Berry, J.T. and N.L. Hargett (1986). Fertilizer Summary Data. National Fertilizer Development Center, Tennesee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Miller, W.R. and R.L. Donahue (1990). Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice - Hall International, Inc. N. J.

Oertli, J.J. (1980). Controlled-release Fertilizers. Fert. Res. 1: 103 - 123.

Randall, G.W. and R.G. Hoeft (1986). Fertilizer Placement Methods; New Wrinkles on an Old Face. Crops Soils 38: 17 - 22.

Randall, G.W. and R.G. Hoeft (1988). Placement Methods for Improved Efficiency of P and K fertilizers: A Review. J. Prod. Agric. 1: 70 - 79.

Stoecker, A.L. and A.B. Onken (1989). Optimal Fertilizer Nitrogen and Residual Nitrate-Nitrogen Levels for Irrigated Corn and Effects of Nitrogen Limitations : An Economic Analysis. J. Prod. Agric. 2: 309 - 317.

Troeh, F.R. and T.M. Thompson (1993). Soils and Soil Fertility. Oxford Univ. Press. New York.

White, R.E. (1987). Introduction to the Principles and Practices of Soil Science. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London.

الفصل السادس عشر

الأراضى الملحية والصودية

Saline and Sodic Soils

- أسباب ملوحة التربة
- مصادر الأملاح الذائبة
- التعبير عن ملوحة وصودية التربة
- تقسيم وإستصلاح الأتربة الملحية والصودية
- تأثير الملوحة والصودية على بناء التربة
- تأثير ملوحة التربة على نمو النبات



16

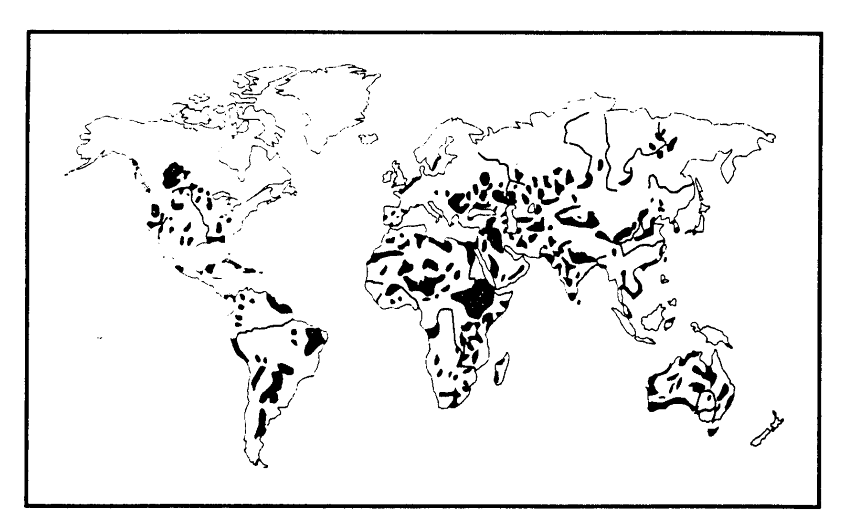
الأراضى الملحية والصــودية

Saline and Sodic Soils

يؤدى تلوث الأراضى بالأملاح الذائبه إلى مشاكل عديدة وخاصـة فى المنـاطق الجافه حيث تكون كمية الأمطار قليله وغير كافيه لغسيل الأملاح الزائدة من التربه . فوجود تركيزات عالية مـن الأمـلاح الذائبـه فـى التربـه يحـد مـن قـدرة النبـات علـى أمتصاص الماء إسموزيا من المحلول الأرضى . كما أن احتواء التربه على نسبة عالية مـن الصوديوم المتبادل (15% <) يـؤدى إلى تفـرق حبيبـات التربـه وتصبـح التربـه قليلـة النفاذيه أو غير منفذة للماء . أيضا الرى بماء قليل الصلاحية يمكن أن يؤدى إلى تجمـع للأملاح فى التربه .

تبلغ مساحة الأراضى المنزرعـة فـى العـالم حـوالى (10^9 × 1.5 هكتـار) وتمثـل الأتربة الملحية حوالى 23% (10^9 × 0.34 هكتار) من مساحة الأراضى المنزرعة بينمـا تمثل الأتربه الصوديه حوالى 37% (10^9 × 0.56 هكتـار) مـن المسـاحـة المنزرعـة . الشكل رقم (16-1) يوضح أن مساحة الأراضى الملحية والصوديه تمثـل حـوالى 10% من مساحة الأراضى الكليه (10^9 x 13.2 هكتار) فى العالم وتتوزع على مائة دوله .

والأتربة الملحية يمكن تقسيمها إلى أتربـة ملحيـة وأتربـة صوديـة وأتربـة ملحيـة صودية وبإختصار يمكن تعريف الأتربة الملحية بأنهـا تلـك الأتربـة التـى تحتـوى علـى مستويات عالية من الأملاح الذائبة بينما تعرف الأتربة الصودية على أنها الأتربة التـى تحتوى على محتوى عالى من الصوديوم المتبادل أما الأتربة الملحية الصوديـة فهـى تلـك الأتربة التى تحتوى على مستوى عالى من الأملاح الذائبة والصوديوم المتبادل وسـوف نتناول بالشرح هذه الأتربة بالتفصيل فيما بعد .



شكل (16-1) : توزيع الأراضى الملحيه فى العالم (Szaboles, 1989).

وغالبا ماتتواجد الأتربة المتأثرة بالأملاح فى المناطق الجافة وشبه الجافة وإن كان يمكن تواجدها فى مساحات أخرى حيث يكون المناخ وحركة الأملاح من أسباب ملوحتها لفترة زمنية قصيرة . ومع ذلك ففى المناطق الرطبة لاتمثل الأتربة المتأثرة بالأملاح مشكلة لأن كمية الأمطار الساقطة تكون كافية لإزالة الملوحة الزائدة من التربة إلى الماء الأرضى ومنه إلى المحيطات . وقد تتواجد بعض الأتربة المتأثرة بالأملاح على طول البحار حيث تصل مياه البحر إلى هذه الأتربة .

أسباب ملوحة التربة Causes of Soil Salinity

الأملاح الذائبة Soluble salts

تحت المناخ الجاف وشبه الجاف حيث لاتوجد أمطار كافية لغسيل الأملاح الذائبة من التربة نجد أن هذه الأملاح تتجمع فى التربة وتكون الأتربة المتأثرة بالأملاح. والكاتيونات الهامة التى توجد فى الأتربة الملحية والماء هى $Na^+, Ca^{2+},$ Mg^{2+} and K^+ أما الآنيونات الأساسية فهى $Cl^-, SO_4^-, HCO_3^-, CO_3^{--}$ and NO_3^-

ويتواجد أيون البيكربونات HCO_3^- كنتيجة لتفاعل ثانى أكسيد الكربون مع الماء ويكون مصدر ثانى أكسيد الكربون إما الجو أو نتيجة لتنفس جذور النبات وميكروبات التربة.

وعادة مايتواجد أيون الكربونات CO_3^{--} فقط عند درجة pH أعلى أو تساوى 9.5 . وعند تجمع الأملاح الذائبة نجد أن أيون الصوديوم يصبح هو الأيون السائد على معقد التبادل ويؤدى إلى تفريق حبيبات التربة وهذا بالتالى يؤدى إلى عديد من المشاكل الفيزيائية فى التربة مثل سوء الصرف والنفاذية . وسيادة عنصر الصوديوم على معقد التبادل غالبا مايحدث نتيجة ترسيب أيونات Ca^{2+} ، Mg^{2+} على صورة كربونات كالسيوم وكربونات كالسيوم وماغنسيوم وكبريتات ماغنسيوم وتكون النتيجة إحلال الصوديوم محل الكالسيوم والماغنسيوم على معقد التبادل .

البخر Evaptranspiration

فى المناطق الجافة وشبه الجافة نجد أن البخر يكون عاليا مما يؤدى إلى زيادة تركيز الأملاح فى التربة . ويتراوح كمية الماء المفقود بالبخر فى المناطق الجافة مابين 50-90% مما يؤدى إلى زيادة الأملاح الذائبة من 20-2 ضعفاً .

الصرف Drainage

سوء الصرف قد يكون أيضا سببا من أسباب تمليح التربة وقد يرجع ذلك إلى إرتفاع مستوى الماء الأرضى أو قلة نفاذية التربة نتيجة الصودية .

صفات ماء الرى Irrigation Water Quality

تعتبر صفات ماء الرى من العوامل الهامة التى تؤثر على ملوحة التربة فإحتواء الماء على تركيزات عالية من الأملاح الذائبة مثل الصوديوم والبورون والعناصر الدقيقة يكون له تأثيرات ضارة على النبات والحيوان . وتعتبر الملوحة من المشكلات شائعة الإنتشار فى الأتربة المروية فحوالى 30-50% من الأتربة المنزرعة تحت نظام الرى تعانى من مشاكل الملوحة . والأتربة المتأثرة بالملاح تنتشر فى المناطق الجافة وشبه الجافة كما فى الشرق الأوسط وجنوب غرب الولايات المتحدة - إستراليا -

الهند ، كما أنها أيضا تنتشر فى بعض المناطق الرطبة كما فى هولندا ، السويد ، روسيا والمجر . والملوحة تؤدى إلى تدهور الأتربة بدرجة كبيرة فنجد أن حوالى مساحة 100,000 فدان سنويا تصبح غير منتجة وغير صالحة للإنتاج الزراعى بسبب الملوحة .

وأحد المشاكل الهامة التى تعانى منها الأتربة المنزرعة تحت نظام الرى هو أن الماء المستخدم فى رى هذه الأتربة يحتوى على أملاح ذائبة وينتج عن ذلك تجمع هذه الأملاح فى التربة مالم يحدث لها عملية غسيل . وبإستخدام الماء الملحى فى الري مع وجود صرف سيىء وفى غياب الأمطار يؤدى بالقطع إلى تجمع الأملاح فى التربة وذلك يؤثر بدرجة كبيرة على المحصول الناتج ولذلك لابد من غسيل هذه الأملاح وإزالتها من التربة لكى تصبح التربة منتجة وتعطى أقصى إنتاجية لها . ومع ذلك فإن غسيل الأملاح وصرف هذه الأملاح الذائبة فى الماء سوف يؤدى إلى تلوث المياه وبالتالى البيئة . فوجود السيلينيوم وبعض العناصر الأخرى السامة مثل الكروم والزئبق فى مياه الصرف يعتبر مشكلة كبرى فى الأتربة المنزرعة تحت نظام الرى فوجود السيلينيوم فى مياه الصرف أدى إلى موت الأسماك فى بعض مناطق من العالم .

مصادر الأملاح الذائبة Sources of Soluble Salts

تنحصر المصادر الرئيسية للأملاح الذائبة فى التربة فيما يلى :

- تجويه المعادن الأولية والصخر
- الترسيب الجوى
- الرى بماء ملحى
- مياه الصرف
- الماء الجوفى المالح
- حركات المد والجزر لمياه البحر
- إضافة الأسمدة العضوية وغير العضوية
- الرى بمياه الصرف الصحى

تجويه الصخور الأولية الموجودة فى التربة نتيجة عمليات التحلل المائى والتأدرت

والأكسدة والكربنة Carbonation يؤدى إلى إنطلاق الأملاح الذائبة كما أن الترسيب الجوى بنوعيه الجاف والرطب يؤدى إلى تجميع كمية من الأملاح تتراوح من 200-100 كجم / هكتار / سنة على طول سواحل البحار أما فى المناطق الداخلية والتى تتميز بقلة سقوط الأمطار فإن الأملاح المترسبة من الجو تتراوح من 20-10 كجم / هكتار / سنة وتركيز الملح المترسب بهذه الطريقة يختلف بإختلاف المسافة والمصدر فنجد على طول شواطىء البحار أن تركيب الملح هو عبارة عن كلوريد صوديوم أساسا ويزيد تركيز الكالسيوم والماغنسيوم فى هذه الأملاح كلما بعدنا عن شاطىء البحر .

المعايير الهامة المستخدمة للتعبير عن ملوحة وصودية الأتربة
Important Salinity and Sodicity Parameters

تعتمد المقاييس المستخدمة للتعبير عن ملوحة الأتربة أساسا على تركيز الأملاح فى المحلول الأرضى وكمية الصوديوم المتبادل على التربة . ويتم تقدير الأملاح فى المحلول الأرضى بواسطة عدة طرق مثل التبخير Evaporation أو إستخدام جهاز التوصيل الكهربائى Electron conductometric technique (جدول رقم 16-1) . أما الصوديوم المتبادل فيتم تقديره عن طريق تبادل الصوديوم مع أيون آخر مثل الكالسيوم وقياس الصوديوم فى المحلول بواسطة جهازالإمتصاص الذرى Atomic absorption أو Flame photometry .

جدول (16-1) : الوحدات المستخدمة فى قياس الأملاح فى التربة

دليل الملوحة Salinity index	وحدات القياس Units of measurement
Total dissolved solids (TDS) or total soluble salt concentration (TSS)	mg $liter^{-1}$
Total concentration of soluble cations (TSC)	mol_c $liter^{-1}$
Total concentration of soluble anions (TSA)	mol_c $liter^{-1}$
Electrical conductivity (EC)	dS m^{-1} = mmhos cm^{-1} (higher saline soils); dS m^{-1} x 10^{-3} or μS cm^{-1} = μmhos cm^{-1} (lower saline soils)

الأملاح الكلية الذائبة Total Dissolved Solids (TDS)

ويتم قياس الأملاح الكلية الذائبة (TDS) وذلك بتبخير وزن معلوم من الماء المتحصل عليه من المادة الصلبة (التربة) حتى الجفاف ووزن المتبقى . ومع ذلك فإن هذا المقياس غير دقيق لأنه فى العينة الواحدة المعينة يوجد عدة صور للأملاح وقد ينتج عن التبخير فقد إحدى هذه الصور . وعموما فإن تقدير الأملاح الكلية الذائبة (TDS) ضرورى لقياس الجهد الأسموزى ($-\tau_o$) الذى هو دليل تحمل المحاصيل للملوحة Salt tolerance of crops . ففى مياه الرى التى تحتوى على أملاح كلية ذائبة TDS تتراوح بين 5-1000 مجم / لتر نجد أن العلاقة بين الجهد الأسموزى (TDS) كالآتى (Bresler *et al.*, 1982) .

$$-\tau_o \approx -5.6 \times 10^{-4} \times \text{TDS (mg liter}^{-1}) \qquad \text{............ (1)}$$

وبدون وجود علامة السالب (-) فى المعادلة السابقة يمكن إستخدام نفس المعادلة لتقدير قيم الضغط الأسموزى (τ_o) وسوف نتكلم لاحقا عن الجهد الأسموزى والضغط الأسموزى .

أيضا يمكن تقدير الأملاح الكلية الذائبة معبراً عنها بالمجم / لتر وذلك بقياس التوصيل الكهربائى (EC) لمستخلص عينة التربة المشبعة كالآتى :

$$\text{TDS mg liter}^{-1} = \text{EC (dS m}^{-1}) \times 640 \text{ (For EC between 0.1-5.0 dS m}^{-1})$$

$$\text{، TDS mg liter}^{-1} = \text{EC (dS m}^{-1}) \times 800 \quad \text{(For EC} > 5.0 \text{ dS m}^{-1})$$

وإختيار ضرب قيم ألـ EC فى معامل سواء 640 أو 800 تم نتيجة إستخدام عدد كبير جداً من العينات مختلفة الملوحة وإيجاد العلاقة بين EC ، TDS لهذه العينات.

أيضا يمكن حساب بعض العلاقات الأخرى (Tanji, 1990) .

Total Concentration of Soluble Cations (TSC) or anions (TSA)

$$= \text{EC (dS m}^{-1}) \times 0.1 = \text{mol / liter}^{-1}$$

$$= \text{EC (dS m}^{-1}) \times 10 = \text{mmol / liter}^{-1}$$

التوصيل الكهربائى Electrical Conductivity (EC)

تستخدم طريقة التوصيل الكهربائى كدليل لتقييم ملوحة التربة . وتعتبر هذه الطريقة من أفضل طرق قياس الملوحة لدقتها وسرعتها بالإضافة إلى أنها غير مكلفة وتستخدم هذه الطريقة روتينياً فى كثير من معامل إختبارات التربة . وتعتمد طريقة التوصيل الكهربائى على أن التيار السارى فى المحلول الملحى يزيد بزيادة ملوحة المحلول تحت الظروف القياسية . ويتم قياس التوصيل الكهربائى (EC) لعينة المحلول الأرضى كالآتى :

يوضع الكترودين فى عينة المحلول فيسرى الجهد الكهربائى بين الإلكترودين ويتم قياس مقاومة (R) Resistance المحلول مقدرة بالأوم Ohm . ومن المعروف أن مقاومة المحلول تتناسب تناسبا عكسيا مع مساحة المقطع Cross section area (A) لخلية التوصيل .

$$R \propto \frac{1}{A}$$

وتتناسب طرديا مع طول خلية التوصيل Length (L)

$$R \propto L$$

وتعرف المقاومة النوعية Specific Resistance (R_s) بأنها مقاومة حجم 1 cm^3 من العينة . وعادة مايتم قياس جزء من المقاومة النوعية نتيجة لصغر حجم خلية التوصيل المستخدمة ويطلق على هذا الجزء المقاس من المقاومة النوعية إسم ثابت الخلية Cell constant (K) .

$$(\text{Cell constant})\ K = R/R_s$$

$$\text{، Conductance}\ C = 1/R$$

ويعبر عن التوصيل (C) بوحدات mhos = $\frac{1}{\text{Ohm}}$

وعند أخذ ثابت الخلية فى الإعتبار يصبح التوصيل (C) هو عبارة عن التوصيل النوعى Specific Conductance (C_s) الذى هو مقلوب المقاومة النوعية (R_s) . والتوصيل النوعى هو نفسه التوصيل الكهربائى الذى يتم قياسه ويعبر عنه كمايلى :

$$EC = C_s = \frac{1}{R_s} = \frac{K}{R}$$

ووحدات التوصيل الكهربائى (EC) ميكروموز/سم ($u\ mho\ cm^{-1}$)

أو مليموز/سم ($mmho\ cm^{-1}$)

وبإستخدام الوحدات القياسية العالمية SI Units نجد أن :

$$\frac{1}{Ohm} = Siemen\ (S)$$

فتكون وحدات التوصيل الكهربائى تبعا لذلك $S\ m^{-1}$ أو

$dS\ m^{-1}$ decisiemens $meter^{-1}$ ($1\ dS\ m^{-1} = 1\ mmho\ cm^{-1}$)

ولذلك يمكن قياس التوصيل الكهربائى EC عند درجة حرارة 298 K بإستخدام المعادلة:

$$EC_{298} = Ec_t\ F_t$$

حيث F_t ، معامل الحرارة الذى يمكن تقديره بإستخدام المعادلة التالية :

$$F_t = 1 + 0.019\ (t - 298\ K)$$

، t = درجة الحرارة التى يتم عندها قياس التوصيل الكهربائى معبرا عنهـا بدرجـات Kelvin .

ويمكن التعبير عن قيم التوصيل الكهربائى فى التربة بطـرق عديـدة تبعـا لطريقـة القياس فمثلاً :

Ec_e هو التوصيل الكهربائى لمستخلص عجينة الأرض المشبعة

Ec_p هو التوصيل الكهربائى لعجينة الأرض المشبعة

Ec_w هو التوصيل الكهربائى للمحلول الأرضى أو الماء

Ec_a هو التوصيل الكهربائى للتربة فى الحقل

ويعتبر قياس التوصيل الكهربائى فى مستخلص عجينة التربة المشبعة هى الطريقـة الشائعة لقياس ملوحة التربة . وفى هذه الطريقة يتم تحضير عجينة التربة المشبعة وذلك

بإضافة الماء المقطر إلى 200-400 جرام تربة جافة هوائيا والتقليب ثم يترك المخلوط عدة ساعات حتى يتفاعل الماء مع التربة ويذيب الأملاح القابلة للذوبان وترك المخلوط فترة زمنية هى عملية ضرورية لحدوث الإتزان . بعد ذلك يمكن الحصول على مستخلص عجينة التربة المشبعة وذلك بإستخدام قمع بوخنر Buchner Funnel متصل بمضخة تفريغ ويتم قياس التوصيل الكهربائى EC فى المستخلص بإستخدام جهاز التوصيل Conductance meter وأيضا قياس درجة الحرارة بواسطة ترموميتر وحساب التوصيل الكهربائى من المعادلة السابقة .

وتتراوح قيم التوصيل الكهربائى لمياه الرى بين $0.15\text{-}1.50\ dS\ m^{-1}$ وعادة ماتكون قيم التوصيل الكهربائى للمحلول الأرضى ومياه الصرف أعلى من ذلك وتعتبر مياه الرى ذات قيم توصيل كهربائى $< 0.7\ dS\ m^{-1}$ جيدة وصالحة للإستخدام فى الرى الزراعى بدون أن تسبب أى مشاكل أما إذا زادت قيم التوصيل الكهربائى لمياه الرى عن $3\ dS\ m^{-1}$ فيمكن أن تؤثر على نمو وإنتاجية العديد من المحاصيل .

وتوجد علاقة خطية بين Ec_w ، القوة الأيونية Ionic strength عند 298 K يمكن التعبير عنها كما يلى :

$$I = 0.0127\ Ec_w$$

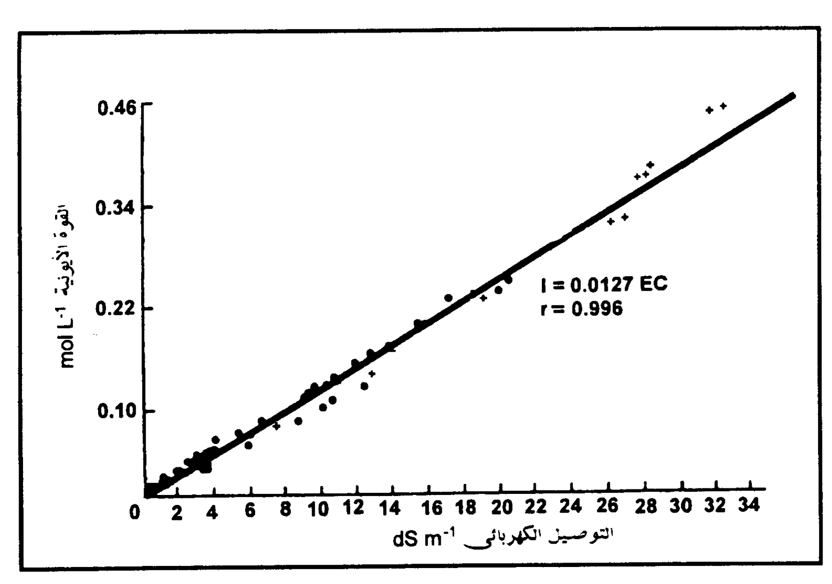
حيث :

Ec_w = التوصيل الكهربائى للمحلول الأرضى ($dS\ m^{-1}$) عند درجة 298 K

والشكل رقم (2-16) يوضح العلاقة الخطية الواضحة بين I ، Ec_w بالنسبة لمستخلصات التربة أو مياه النهر .

ومن المهم جداً قياس ومتابعة ملوحة مساحات كبيرة من الأتربة المروية وعمل خرائط ملوحة لهذه المناطق حيث أن ذلك سوف يساعد كثيرا فى عملية تقييم ملوحة التربة وأيضا معرفة الأتربة التى تحتاج إلى غسيل للأملاح . وحاليا يوجد العديد من الأجهزة الحديثة ذات التقنيات العالية والتى تسهل عملية قياس الملوحة فى الحقل وذلك لمساحات كبيرة ومن أمثلة ذلك :

- Four electrode sensor
- Electomagnetic induction sensor
- Sensor based on time domain reflectometry technology



شكل (2-16) : يوضح العلاقة بين القوة الأيونية والتوصيل الكهربائى للمحاليل الطبيعية (•) مياه النهر (+) مستخلص التربة

Parameters to Measure the Sodic Hazard معايير قياس الصودية

يوجد عدة مقاييس هامة شائعة الإستخدام فى تقييم كمية الصوديوم فى المحلول الأرضى وفى معقد التبادل وهذه المقاييس هى :

نسبة الصوديوم المدمص	Sodium adsonption ratio (SAR)
نسبة الصوديوم المتبادل	Exchangeable sodium ratio (ESR)
النسبة المئوية للصوديوم المتبادل	Exchangeable sodium percentage (ESP)

ولحساب نسبة الصوديوم المدمص (SAR) تستخدم المعادلة التالية :

$$SAR = [Na^+] / [Ca^{2+} + Mg^{2+}]^{1/2}$$

حيث تدل [ ] على التركيز الكلى للأيونات فى الطور السائل (المحلول الأرضى) معبرا عنه بالمليمول / لتر $mmol\ liter^{-1}$ ويلاحظ فى المعادلة السابقة

إستخدام التركيز الكلى بدلا من النشاط Activity ومعنى ذلك أن هذه المعادلة لاتأخذ فى الإعتبار إنخفاض تركيز الأيونات الحرة والنشاط نتيجة لتكوين المعقدات وأزواج الأيونات Ion pairs والذى يمكن أن يكون إنخفاضاً ملحوظا ومعنويا بالنسبة لأيونات الكالسيوم والماغنسيوم (Sposito and Mattigod, 1977) .

ويلاحظ أيضا أن فى المعادلة السابقة عومل الكالسيوم والماغنسيوم كما لو أنهما من نفس النوع Species وهذا ليس له أى أساس نظرى حيث أن التشابه الوحيد بين الكالسيوم والماغنسيوم يكمن فى أنهما يحملان نفس الشحنة (التكافؤ ثنائى) ويجب ملاحظة أن تركيز الكالسيوم فى الماء يكون أعلى بكثير من الماغنسيوم.

ولما كانت أيونات الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم هى الأيونات المتبادلة شائعة الإنتشار فى أراضى المناطق الجافة فيمكن تبسيط المعادلة السابقة (Jurinak and Suarez 1990) كما يلى :

$$\frac{[Na - soil]}{CEC - [Na - soil]} = K_G^- \quad SAR = ESR$$

حيث يتم التعبير عن كلا من تركيز الأيونات على معقد التبادل ، السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) بالمول / كجم $mol\ kg^{-1}$

، K_G^- هو معامل التفضيل المعدل لجابون Gopon selectivity coefficiat

، ESR هى نسبة الصوديوم المتبادل

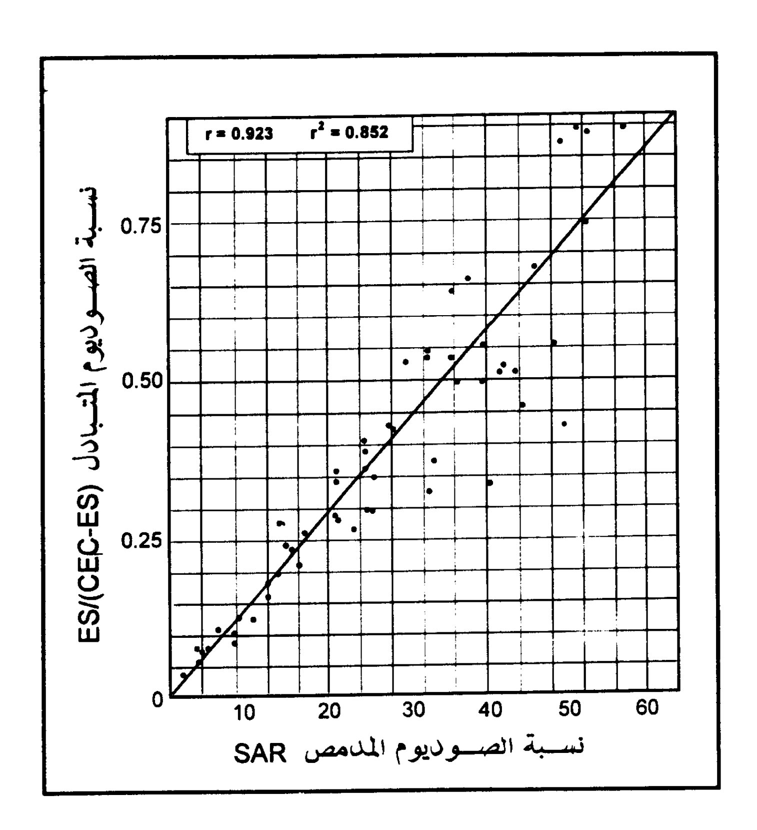
علما بأن :

$$K_G^- = \frac{[Na - soil][Ca^{2+} + Mg^{2-}]^{1/2}}{[Ca - soil + Mg - soil][Na^-]}$$

ووحدات K_G^- هى $(mmol\ liter^{-1})^{-1/2}$ أما وحدات تركيز أيونات الكالسيوم ، الماغنسيوم على معقد التبادل فهى $cmol\ kg^{-1}$.

وقد لوحظ وجود علاقة خطية وإرتباط بين نسبة الصوديوم المتبادل ، (ESR) ونسبة الصوديوم المدمص (SAR) كما هو واضح فى الشكل رقم (16-3) وهذه العلاقة يمكن التعبير عنها كما يلى :

$$ESR = -0.0126 + 0.014645\ SAR$$



شكل (16-3) : العلاقة بين نسبة الصوديوم المتبادل (ESR) ونسبة الصوديوم المدمص (SAR) فى مستخلصات عجينة الأتربة المشبعة

النسبة المئوية للصوديوم المتبادل

(ESP) Exchangeable Sodium Percentage

$$ESP = \frac{[Na - soil]}{CEC} X\ 100$$

ووجد أن متوسط قيم ESP للأتربة المروية هى حوالى 0.015 والواقع أنه توجد علاقة بين ESP , SAR , ESR كما هو واضح فى المعادلة التالية :

$$ESP / 100 - ESP = K_G^- \quad SAR = ESR$$

وإذا زادت النسبة المئوية للصوديوم المتبادل ESP فى الأتربة عن 30 فهذا يعنى أن هذه الأتربة تعانى من مشاكل النفاذية والذى بدوره سوف يؤثر على نمو النبات. وبالنسبة للعديد من الأتربة نجد أن القيم العددية Numerical values لنسبة الصوديوم المتبادل ESP فى عينة التربة يساوى تقريبا القيمة العددية لنسبة الصوديوم المتبادل فى محلول التربة بالنسبة لهذه العينة (هذا صحيح حتى قيم ESP = 25-30) . وعادة ماتستخدم قيم ESP كمعيار لتقسيم الأتربة الصودية كما يلى :

أتربة غير صودية	ESP < 15
أتربة صودية	ESP > 15

وعموما يفضل إستخدام SAR للدلالة على الأتربة الصودية

إذا كانت قيم تركيز الكاتيونات بالمليمول/لتر mmol / L فإن :

$$SAR = \frac{Na^+}{(Ca^{+2} + Mg^{2+})^{\frac{1}{2}}}$$

أما اذا كانت قيم تركيز الكاتيونات بالمليمكافىء/لتر meq / L فإن :

$$SAR = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^{+2} + Mg^{2+}}{2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

حساب نسبة الصوديوم المدمص SAR

مثـــال :

يوضح الجدول التالى تركيز الكاتيونات والأنيونات فى مستخلص العجينه المشبعه لثلاث أراضى (1 ,2 ,3) مقدره بالمليجرام /لتر إحسب SAR لهذه الأراضى.

Cations				Anions					
Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-	CO_3^{--}	pH	EC
أرض رقم (1)									
351	1301	411	41	4329	452	117	0	7.8	7.6
أرض رقم (2)									
1828	134	119	20	2556	965	146	0	7.3	9.2
أرض رقم (3)									
672	22	4	160	266	221	1141	0	9.6	3.2

الحـــل : تحسب meq/L وذلك بقسمة قيمة mg/L للكـاتيون على الـوزن الـذرى والضرب فى تكافؤ الكـاتيون . فمثـلا حسـاب مليمكـافىء/لـتر meq/L للكالسـيوم فـى الأرض رقم 1 يتم كما يلى :

$$\text{meq of } Ca^{2+}/L = \frac{(1301)(2)\ \text{meq}}{40.08} = 64.9 \quad \text{meq}/L \quad \text{of} \quad Ca^{2+}$$

$$SAR = \frac{15.26 \quad \text{meq}/L \quad \text{of} \quad Na}{\sqrt{\frac{65.0 + 34.2 \quad \text{meq}/L}{2}}} = \frac{15.26}{\sqrt{49.6}} = 2.24$$

أرض رقم 2 :

$$SAR = \frac{79.5 \quad \text{meq}/L \quad \text{of} \quad Na}{\sqrt{\frac{6.7 + 9.9 \quad \text{meq}/L}{2}}} = \frac{79.5}{\sqrt{8.3}} = 27.6$$

أرض رقم 3 :

$$SAR = \frac{29.2 \quad \text{meq}/L \quad \text{of} \quad Na}{\sqrt{\frac{1.1 + 0.33 \quad \text{meq}/L}{2}}} = \frac{29.2}{\sqrt{0.71}} = 37.8$$

تقسيم وإستصلاح الأتربة الملحية والصودية
Classification and Reclamation of Saline and Sodic Soils

(i) الأتربة الملحية Saline Soils

تعرف الأتربة الملحية عادة على أنها تلك الأتربة التي يكون التوصيل الكهربائى امستخلص عجينة التربة المشبعة فيها أقل من $4\ dS\ m^{-1}$ والنسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) أقل من 15 ، SAR أقل من 13 (جدول رقم 16-2) ولقد إقترح بعض العلماء أن يكون حدود الأتربة الملحية بالنسبة للتوصيل الكهربائى لعجينة الأتربة المشبعة $2\ dS\ m^{-1}$ على إعتبار وجود محاصيل عديدة خاصة محاصيل الفاكهة والزهور يمكن أن تتأثر بالملوحة فى المدى $2 - 4\ dS\ m^{-1}$.

وتنحصر مشاكل الأتربة الملحية أساسا فى وجود الأملاح الذائبة بتركيزات زائدة وخاصة الكلوريد والكبريتات وأحيانا النترات وقد يوجد أحيانا بعض الأملاخ قليلة الذوبان مثل كبريتات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم . وفى الأتربة الملحية لاتوجد مشكلة زيادة الصوديوم المتبادل وكذلك نجد أن هذه الأتربة تكون ذات نفاذية عالية .

جدول (16-2) : خواص الأتربة غير الملحية والملحية والصودية

التربـــة	درجة الحموضة pH	التوصيل الكهربائى EC (dS/m)	نسبة الصوديوم المتبادل SAR
عادية غير ملحية	6.5-7.2	< 4	< 13-15
ملحـية	< 8.5	> 4	< 13-15
ملحية صودية	< 8.5	> 4	> 13-15
صــودية	> 8.5	< 4	> 13-15

إستصلاح الأتربة الملحية Reclamation of saline soils

يمكن إستصلاح الأتربة الملحية وذلك بغسيل الأملاح من التربة بواسطة مياه ذات صفات جيدة حيث يعمل الماء على إذابة الأملاح من التربة وإزالتها من منطقة الجذور ولنجاح عملية الإستصلاح فإنه يجب تخفيض تركيز الأملاح فى التربة حتى

عمق 45-60 cm من سطح التربة إلى قيمة أقل من التركيز الحرج Threshold values للمحصول المزمع زراعته (Keren and Miyamoto, 1990) وقد يعوق عملية الإستصلاح بعض العوامل الأخرى مثل سوء الصرف نتيجة إرتفاع الماء الأرضى أو ضعف التوصيل الهيدروليكى للتربة نتيجة لوجود طبقة صماء أو عدم وجود مياه ذات صفات جيدة .

(ii) الأتربة الصودية Sodic Soils

وتعرف الأتربة الصودية بأنها تلك الأتربة التى يكون فيها النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) أعلى من 15 والتوصيل الكهربائى لمستخلص عجينة الأرض المشبعة أقل من $4\ dS\ m^{-1}$ والحد الأدنى لنسبة الصوديوم المدمص (SAR) فى مستخلص عجينة الأرض المشبعة هو 13 . ويؤدى التركيز العالى للصوديوم بالإضافة إلى إنخفاض تركيز الأملاح فى التربة إلى تفرق الحبيبات . وينحصر مدى pH الأتربة الصودية بين 8.5-10 وإرتفاع pH هذه الأتربة يرجع عموما إلى تحلل كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) . وتتواجد أيونات الكلوريد والكبريتات والبيكربونات فى محاليل الأتربة الصودية بكميات كبيرة وبدرجة أقل من الكربونات . ونتيجة إرتفاع رقم ألـ pH ووجود الكربونات يحدث ترسيب لأيونات الكالسيوم والماغنسيوم وبذلك تكون كمية الكالسيوم والماغنسيوم فى المحلول الأرضى قليلة .

وقديما كان يطلق على الأتربة الصودية لفظ الأتربة القلوية السوداء نتيجة ذوبان هيومات الصوديوم التى تترسب على التربة فى شكل بقع سوداء . وقد تكون الأتربة الصودية ذات قوام خشن فى الطبقة السطحية نتيجة غسيل حبيبات الطين المشبعة بالصوديوم إلى الطبقة تحت السطحية ويؤدى ذلك إلى تفرق حبيبات التربة فى الطبقة تحت السطحية وتصبح النفاذية ضعيفة ويتطور البناء إلى منشورى Prismatic.

إستصلاح الأتربة الصودية Reclamation of Sodic Soils

إستصلاح الأتربة الصودية يتطلب تقنية مختلفة عن تلك المستخدمة فى إستصلاح الأتربة الملحية . ففى الأتربة الصودية نجد أن وجود كميات كبيرة من الصوديوم المتبادل قد أدى إلى تفرق حبيبات الطين وبالتالى وجود مشاكل نفاذية مما

قد يعوق حركة المياه داخل قطاع التربة بالإضافة إلى أن الغسيل لايكفى لأن الماء وحده غير كافٍ لإزالة الصوديوم المتبادل من التربة . ولذلك يجب أولا إحلال كاتيون آخر محل الصوديوم المتبادل على معقد التبادل ثم بعد ذلك غسيل الصوديوم خارج منطقة الجذور .

وفى أغلب الأحوال يستخدم الكالسيوم للإحلال محل الصوديوم فى الأتربة الصودية وتعتبر كبريتات الكالسيوم (الجبس $CaSO_4 . 2H_2O$) أفضل وأرخص المواد التى تفى بهذا الغرض . والكالسيوم الذائب من الجبس يحل محل الصوديوم على معقد التبادل وتتكون كبريتات الصوديوم الذائبة فى الماء التى يمكن بعد ذلك غسيلها وطردها خارج منطقة الجذور . ويعمل الجبس على زيادة نفاذية التربة . أيضا يمكن إضافة الكبريت لإستصلاح الأتربة الصودية التى تحتوى على كربونات كالسيوم حيث تعمل بكتريا Thiobacillus ببطء على أكسدة الكبريت إلى حمض الكبرتيك H_2SO_4 الذى بدوره يتفاعل مع كربونات الكالسيوم مكونا جبس ويتفاعل مع التربة كما سبق شرحه .

$$\underset{\text{lime}}{CaCO_3} + H_2SO_4 + H_2O \rightarrow \underset{\text{gypsum}}{CaSO_4 - 2H_2O} + \underset{\text{gas}}{CO_2} \uparrow$$

(iii) الأتربة الملحية الصودية Saline Sodic Soils

وتعرف الأتربة الملحية الصودية على أنها تلك الأتربة التى يكون التوصيل الكهربائى لمستخلص عجينة التربة المشبعة أكبر من ٤ والنسبة المئوية للصوديوم المتبادل أكثر من 15 وتتميز هذه الأتربة بإنخفاض رقم الـ pH أقل من 8.5 وهذه الأتربة تكون الحبيبات فيها متجمعة وذلك لإرتفاع تركيز الأملاح الذائبة بها .

إستصلاح الأتربة الملحية الصودية

ويتم إستصلاح هذه الأتربة وذلك بإضافة ماء ذو خواص جيدة إلى هذه الأتربة أولا وذلك لغسيل الأملاح الزائدة ثم بعد ذلك إستخدام الجبس للتخلص من الصوديوم كما سبق شرحه فى الأتربة الصودية .

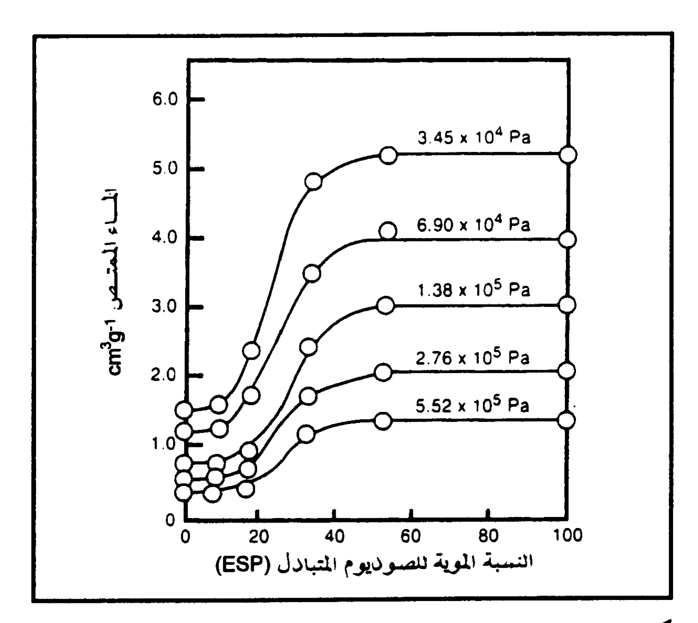
وتوجد طريقة جديدة ثبت فعاليتها فى إستصلاح الأتربة الملحية-الصودية تسمى طريقة إستخدام الماء الملحى Salt water-dilution method وفى هذه الطريقة يتم غسيل التربة بواسطة ماء ملحى يحتوى على تركيزات عالية من الكالسيوم والماغنسيوم وبعد إزالة الصوديوم من معقد التبادل يتم غسيل التربة ثانية بماء ذو خواص جيدة للتخلص من الأملاح الزائدة .

وفى كلا من الأتربة الصودية والأتربة الصودية-الملحية نجد أن التكلفة ووجود مصدر للكالسيوم ومصدر ماء جيد الصلاحية من أهم العوامل التى تحدد عملية الإستصلاح . ومن الضرورى فى عملية الإستصلاح أن يتم تفاعل الكالسيوم كلية مع التربة ولذلك فالأفضل وضع مصدر الكالسيوم تحت سطح التربة حتى يسرع من عملية التبادل الكاتيونى . ويمكن إضافة كبريتات الكالسيوم أيضا مع مياه الرى وذلك لزيادة نسبة الكالسيوم إلى الصوديوم (Ca/Na ratio) فى الماء وتحسين عملية الإستصلاح .

تأثير الملوحة والصودية على بناء التربة
Effects of Salinity and Sodicity on Soil Structural Properties

يتأثر بناء التربة إلى حد كبير بملوحة وصودية التربة . وبناء التربة أو نظام توزيع حبيبات التربة له تأثير كبير على نفاذية التربة وبالتالى على حركة المياه الذائبة فى التربة Infiltration فإرتفاع كمية الصوديوم فى التربة مع وجود تركيز أملاح منخفض (EC منخفض) يؤدى إلى خفض نفاذية التربة ، التوصيل الهيدروليكى ومعدل حركة المياه الرأسية داخل قطاع التربة وذلك نتيجة إنتفاخ وتفرق حبيبات الطين . ويعرف معدل حركة المياه داخل التربة Infiltration rate بأنه " حجم الماء المتدفق خلال قطاع التربة لكل وحدة مساحة سطحية " ومعدل حركة المياه داخل قطاع التربة غير الصودية يكون عادة مرتفع حينما تكون الأرض جافة ثم يقل حتى تصل التربة إلى درجة التشبع . وتمدد حبيبات الطين نتيجة للصودية يؤدى إلى صغر حجم المسام فى التربة وبالتالى يسهل على حبيبات الطين المتفرقة غلق هذه المسام الهامة لحركة الماء داخل قطاع التربة. وتمدد الطين له تأثير ظاهر على النفاذية ويتوقف تمدد حبيبات

الطين على طبيعة معدن الطين ونوع الأيونـات المدمصة عليه وتركيز الأمـلاح فـى المحلول الأرضى فتمدد الطين يكـون عـالى فـى معـدن السـمكتيت Smectite المشـبع بأيونات الصوديوم ويزيد التمدد كلمـا كـان تركيز المحلـول الإليكـتروليتى ضعيفـا . وزيـادة نسـبة الصوديـوم المتبـادل ESP أعلـى مـن 15 يـؤدى إلى تمـدد معـدن الموتيموريللوتيت نتيجة إمتصاص كميات كبيرة من الماء (شكل 16-4) .



شكل (16-4) : تأثير نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) على الماء الممتص بواسطة معدن الموتيموريللوتيت

تأثير ملوحة التربة على نمو النبات

Effect of Soil Salinity on Plant Growth

تؤثر ملوحة وصوديـة التربـة بدرجـة كبـيرة علـى نمـو النبـات (شـكل 16-5) . فالصودية يمكن أن تسبب سمية للنباتـات بالإضافـة إلى مشـاكل التغذيـة المعدنيـة مثـل نقص الكالسيوم . أمـا فى الأتربة الملحـية فوجـود تركيزات عالية من الأملاح الذائبة

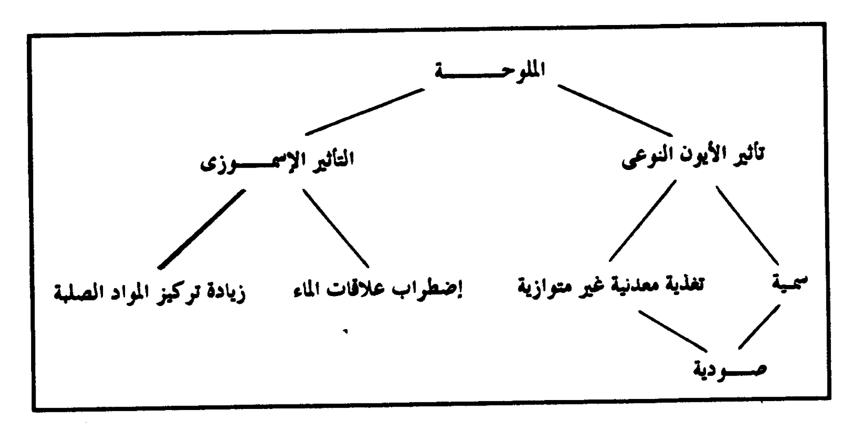
مثل أملاح الكلوريد والكبريتات والبيكربونات والصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم وأحيانا البوتاسيوم يؤثر تأثيراً سيئاً على النبات نتيجة لخفض الجهد الأسموزى مع العلم أن النباتات تختلف فيمابينها بالنسبة لمقدرتها على تحمل الملوحة والأملاح الذائبة تؤثر على الضغط الأسموزى للمحلول الذى يعتبر دليل للتنبؤ بتأثير الملوحة على نمو النبات ويمكن حساب الضغط الأسموزى للمحلول τ_o من العلاقة الآتية :

عند درجة حرارة 298 K

$$\tau_o \text{ (k Pa)} = 40 \text{ EC}$$

علما بأنه عند درجة الحرارة 273 K تصبح العلاقة :

$$\tau_o \text{ (k Pa)} = 36 \text{ EC}$$



شكل (5-16) : تأثير الملوحة والصودية على النبات (Lauchi and Epstein, 1990)

ويمكن التعبير عن درجة تحمل النبات للملوحة بإستخدام المعادلة الآتية (Mass, 1990):

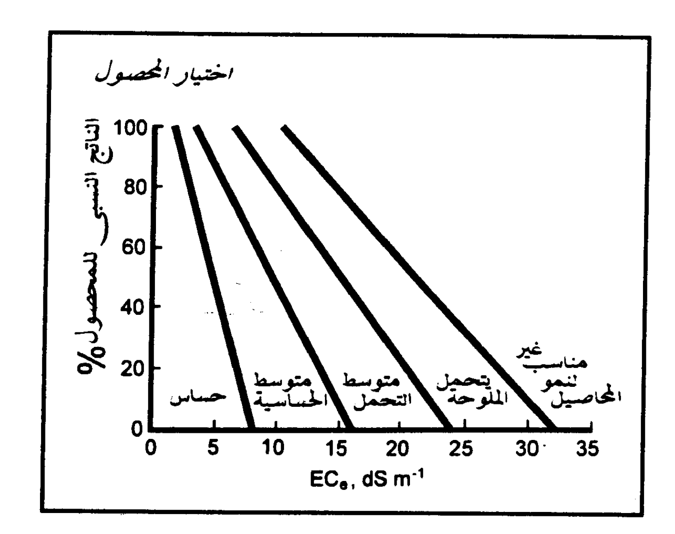
$$Y_t = 100 - b\,(Ec_e - a)$$

حيث :

Y_t هى النسبة المئوية للمحصول النامى تحت ظروف ملحية بالمقارنة بالمحصول النامى تحت ظروف غير ملحية مع ثبات العوامل الأخرى .

a ، المستوى الحرج Threshold level لملوحة التربة والذى يبدأ عنده المحصول فى الإنخفاض .

b ، النسبة المئوية للنقص فى المحصول لكل زيادة فى الملوحة أعلى من قيمة المستوى الحرج (a) .



شكل (6-16) : أقسام تحمل النباتات للملوحة

ودرجة تأثير الملوحة على نمو النبات يتوقف على عدة عوامل منها المناخ ، ظروف التربة ، العمليات الزراعية ، إدارة الرى ، نوع وصنف النبات ومرحلة النمو. فالملوحة عادة لاتؤثر فى المحصول إلا عند تركيز ملوحة معين يختلف بإختلاف النبات وهذا التركيز المعين هو مايطلق عليه المستوى الحرج للملوحة والذى يختلف من نبات إلى آخر (جدول 16-3) . وبوجه عام فإن المحصول الناتج من معظم النباتات يقل بزيادة الملوحة وقد قسم Mass and Hoffman, (1997) النباتات إلى خمسة أقسام تبعا لدرجة تحملهم للملوحة على أساس درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص عجينة الأرض المشبعة (شكل 16-6) .

جدول (3-16) : درجة تحمل الملوحة لبعض المحاصيل

Crop	الحد الحرج للملوحة Threshold EC_e ($dS\ m^{-1}$)	درجة تحمل الملوحة Tolerance to salinity[b]
	Fiber, grain, and special crops	
Barley	8.0	T
Corn	1.7	MS
Cotton	7.7	T
Peanut	3.2	MS
Rice, paddy	3.0	S
Rye	11.4	T
Sorghum	6.8	MT
Soybean	5.0	MT
Wheat	6.0	MT
	Grasses and forage crops	
Alfalfa	2.0	MS
Clover, red	1.5	MS
Fescue, tall	3.9	MT
Orchardgrass	1.5	MS
Vetch	3.0	MS

Source : Maas, (1990).

[b] هذه البيانات يسترشد بها للإستدلال على درجة تحمل المحاصيل المختلفة للملوحة .

T = تحمل الملوحة ، MT = متوسط التحمل للملوحة ،

S = حساسية الملوحة ، MS = متوسط الحساسية للملوحة

مراجع الفصل السادس عشر

Ayers, R.S. and D.W. Westcot (1976). Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage paper No.29 - Food & Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Bresler, E.; B.L. McNeal and D.L. Carter (1982). Saline and Sodic Soils. Principles - Dynamics - Modeling. Springer-Verlag, Berlin.

Jurinak, J.J. and D.L. Suarez (1990). The Chemistry of Salt affected Soils and Water. In Agriculture Salinity Assessment and Management (K. K. Tanji, ed.) ASCE Manuals Prac. No.71, Am. Soc. Civ. Eng. New York.

Keren, R. and S. Miyamoto (1990). Reclamation of Saline, Sodic and Boron. Affected Soils. In "Agriculture Salinity Assessment and Management" (K.K. Tanji, ed.) ASCE Manuals Prac. No.71, Am. Soc. Civ. Eng., New York.

Lauchli, A. and E. Epstein (1990). Plant Response to Saline and Sodic Conditions. In "Agriculture Salinity Assessment and Management." (K.K. Tanji, ed.) ASCE Manuals Prac. No.71, pp. 113 - 137. Am. Soc. Civ. Eng., New York.

Mass, E.V. (1990). Crop Salt Tolerance. In "Agric Salinity Assessment and Managent. ASCE Manuals Prac. No.71., pp. 262 - 304.

Mass, E.V. and G.J. Hoffman (1977). Crop Salt Tolerance. Current Assessment. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng. 103: 115 - 134.

Sparks, D.L. (1995). "Environmental Soil Chemistry" Academic Press, New York.

Sposito, G. and S.V. Mattigod (1977). On the Chemical Foundation of the Sodium Adsorption Ratio. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 323 - 329.

Szabolcs, I. (1989). Salt Affected Soils. CRC Press, Boca Raton.

Tanji, K.K. (1990). "Agriculture Salinity Assessment and Management" ASCE Manuals Prac. No 71 Am. Soc. Civ. Eng. New York.



الفصل السابع عشر

تلــوث التربـة

Soil Pollution

- ✧ ملـوثـات التربة
  - ◊ المبيدات الكيميائية – المركبات الكيميائية غير العضوية السامة – المخلفات العضوية
- ✧ تأثير المخلفات الزراعية والصناعية على البيئة
  - ◊ المطر الحمضى – تأثير الصوبة – تدمير طبقة الأوزون
- ✧ التخلص من ملوثات التربة
  - ◊ الطرق المستخدمة فى موقع التلوث – الطرق المستخدمة بعيـداً عـن موقـع التلوث



17

تلـــوث التربـة

Soil Pollution

التربة هي المستقبل الرئيسى لعديد من مخلفات المواد الكيميائية المستخدمة فى المجتمع المتحضر وعند دخول هذه المواد إلى التربة تصبح جـزء منهـا وبالتـالى تؤثـر على جميع صور الحياه . ولقد أصبح من الضرورى معرفـة طبيعـة هـذه المخلفـات (الملوثات) وتفاعلاتها فـى الأتربـة وكيفيـة إدارتهـا والتخلـص منهـا . والملوثـات شائعة الإنتشار والتى تصل إلى التربة بكميات كبيرة تنقسم إلى ثلاثة أنواع :

١- المبيدات Pesticides

وأغلب هذه المبيدات تستخدم فى أغراض الزراعة .

٢- الملوثات غير العضوية Inorganic pollutants

مثل الزئبق والكادميوم والرصاص .

٣- المخلفات العضوية Organic wastes

ومثـال ذلـك المخلفـات الناتجـة مـن التصنيـع الزراعـى ومخلفـات الحيوانـات والصرف الصـحى .

أولا : المبـيدات الكيـميائـية Chemical Pesticides

يسـتخدم العديـد مـن مبيـدات الآفـات فـى إنتـاج المحـاصيل وذلـك بغـرض مكافحة الآفات التى تصيب هذه المحاصيل . وتقسم المبيـدات حسـب نـوع الآفـة إلى (١) مبيدات حشرية (٢) مبيدات فطرية (٣) مبيدات حشائش (٤) مبيـدات

نيماتودية (٥) مبيدات قوارض ، وتستخدم الثلاثة أنواع الأولى بكميات كبيرة فى الزراعة ويؤدى ذلك إلى تلوث التربة ولقد قدر أستخدام الولايات المتحدة بحوالى نصف مليون كجم مبيدات (6 بليون دولار) فى عام ١٩٩٠ . ومعظم المبيدات هى عبارة عن مركبات عطرية والتركيب الكيميائى لبعض المبيدات الحشرية ومبيدات الحشائش شائعة الإستخدام موضحا بالشكل (17-1) . ويلاحظ الإختلافات الكبيرة فى التركيب الكيميائى بين أنواع المبيدات .

Carbaryl

Parathion

2,4-D

Atrazine

شكل (17-1) : يوضح التركيب الكيميائى لبعض أنواع المبيدات شائعة الإستخدام فى إنتاج المحاصيل

والنظر إلى المبيدات على أنها ملوثات للتربة يتوقف على درجة تحللها وسميتها للحيوان والإنسان . فالمبيدات التى تتواجد فى التربة لفترة زمنية طويلة بدون أن تتحلل إلى مواد غير سامة للإنسان والحيوان يمكن أن تتجمع بتركيزات عالية فى السلسلة الغذائية Food chain وتؤثر بدرجة كبيرة على صحة الإنسان.

تفاعلات المبيدات فى التربة Reactions of Pesticides in Soils

يصل جزء كبير من المبيدات إلى التربة بغض النظر عن طريق الإستخدام سواء برش النباتات أو إضافتها إلى سطح التربة وبوصول هذه المواد الكيميائية إلى

التربة يمكن لها أن تتحرك فى واحد أو أكثر من الإتجاهات التالية :

أ) تنطلق Vaporize إلى الجو بدون أى تغير كيماوى .

ب) تدمص Adsorbed على سطوح معادن الطين والمواد الدباليه (الهيومس) .

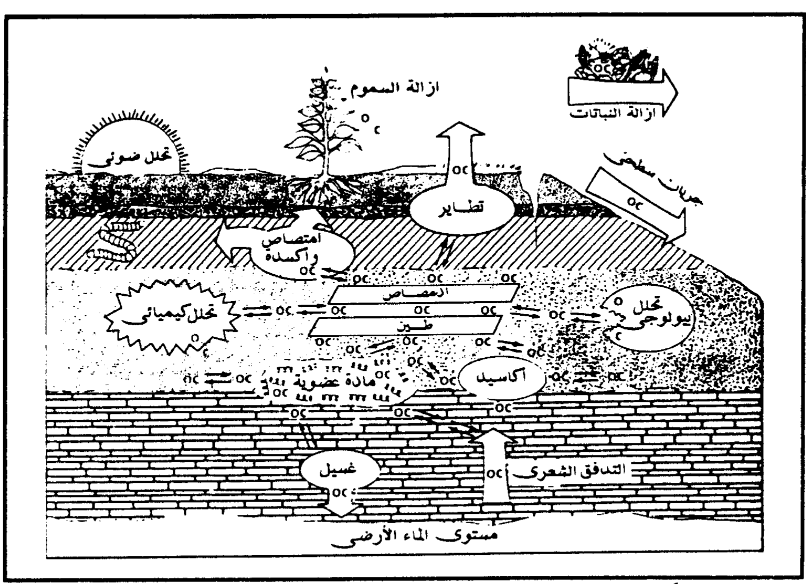
ج) تتحرك خلال قطاع التربة وقد تفقد بالغسيل .

د) تتفاعل كيميائيا مع سطوح حبيبات التربة .

هـ) تتحلل Breakdown بواسطة الأحياء الدقيقة .

و) تمتص Absorbed بواسطة النباتات .

وعامة يتحدد مصير هذه المبيدات فى التربة تبعا للتركيب الكيميائى لكل مبيد نظرا لوجود إختلافات كبيرة فى تركيب هذه المبيدات كما سبق توضيحه فى الشكل (17-1) سابقا . ويوضح الشكل (17-2) العمليات المختلفة التى تؤثر على المواد الكيميائية العضوية فى التربة مثل المبيدات والتى نوجزها فيما يلى:



شكل (17-2) : العمليات المؤثرة على مصير المواد الكيميائية العضوية Organic Chemicals (OC) مثل المبيدات فى التربة

(أ) التطـــاير Volatility

تختلف المبيدات إختلافا كبيرا فى مقـدرتها علـى التطـاير وبالتـالى فقـدها فـى الجـو . فمثـلا بعـض معقمـات التربـة Soil fumigants مثـل برومـيد الميثيـل Methyl bromide يتم إختبارها على أساس الضغط البخارى المرتفع الذى يسـمح للمادة أن تخترق مسام التربة للقضاء علـى الآفـات الموجـودة بهـا وهـذه الخاصيـة تساعد على أن يفقد المبيد بالتطاير بعد معاملة التربة به ما لم تكـن التربـة مغطـاه . ويوجد القليل من مبيدات الحشائش والمبيدات الفطرية التى تمتلك خاصية التطـاير مثل Trifluralin وعموما فالمبيدات التى تفقد من التربة بالتطاير تعود إليها ثانية أو تسقط على المياه بواسطة الأمطار .

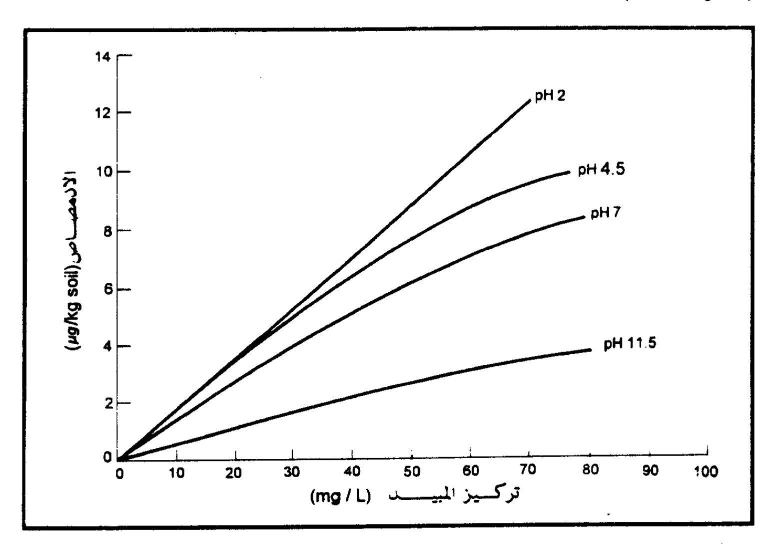
(ب) الإدمـصـــاص Adsorption

يتوقف إدمصاص المبيدات على سطوح التربة على التركيب الكيميائى للمبيد وخصائص التربة المضاف إليها فوجود مجاميع -OH, -NH$_2$, -NHR, -CONH$_2$- فى التركيب الكيميائى للمبيد يساعد على إدمصاص هذه المبيدات علـى غرويـات التربة وخاصة الهيومس . أيضا بعض مبيـدات الحشـائش مثـل Paraquat تحتـوى على مجاميع موجبة الشحنة وينتج عن ذلك إدمصاصها على سطوح معادن الطين. وإدمصاص المبيدات على سـطوح الطـين يتوقـف علـى الرقـم الهيدروجينـى (pH) للتربة (شكل 17-3) فـيزيد الإدمصـاص بإنخفـاض الرقـم الهيدروجينـى (pH) لأن إضافـة أيونـات (H^+) إلى المجـاميع النشـطة مثـل NH$_2$ يـؤدى إلى إكتسـاب مبيـد الحشائش شحنة موجبة وبالتالى يدمص على سطوح غرويات التربة ذات الشـحنة السالبة .

(جـ) الغـســيـل Leaching

يتوقف فقد المبيد مـن التربـة عـن طريـق الغسـيل علـى ذائبيـة المبيـد ودرجـة إدمصاصـه علـى سـطوح غرويـات التربـة . فـالمبيدات ضعيفـة الإدمصـاص علـى غرويات التربة تكون عرضة للفقد بالغسيل من المبيدات قوية الإدمصاص . كذلك فقد المبيدات فى الأتربة الرملية يكون أسهل من فقدها فى الأتربة الطينيـة أو تلـك التى تحتوى على نسبة كبيرة من المادة العضـوية . وعموما فإن مبيـدات الحشـائش

تكون أكثر حركة Mobile من المبيدات الفطرية أو الحشرية وقد أدى إستخدام مبيدات الحشائش بكثرة إلى تلوث الماء الجوفى Ground water فى بعض المناطق (جدول 17-1) .



شكل (17-3): تأثير الرقم الهيدروجينى (pH) للكاؤولينيت على إدمصاص مبيد الحشائش Glyphosate (McConnell and Hosner, 1985)

جدول (17-1): درجة إدمصاص بعض مبيدات الحشائش على سطوح غرويات التربة (المبيدات ضعيفة الإدمصاص تكون عرضة للفقد بالغسيل من المبيدات قوية الإدمصاص)

الإسم الشائع	الإسم التجارى	درجة الإدمصاص على غرويات التربة
Dalapon	Dowpon	لايوجد
Bentazon	Basagran	ضعيف
Propachlor	Ramrod	متوسط
Atrazine	A Atrex	قوى
Alachor	Lasso	قوى
Paraquat	Paraquat	قوى جدا
Trifluralin	Treflan	قوى جدا

(د) التفاعلات الكيميائية Chemical reactions

يتغير التركيب الكيميائى لبعض المبيدات عن طريق التحلل الضوئى البطىء Photode composition والذى ينشط بواسطة الإشعاع الشمسى وهذا التحلل الضوئى يحدث بدون تدخل الكائنات الدقيقة فى التربة ومثال ذلك مبيد الحشائش Tuazine والمبيدات الحشرية الفوسفاتية التى يحدث لها تحلل فى التربة Degradation .

(هـ) التحلل البيوكيميائى Biochemical Degradation

ويعد التحلل البيوكيميائى للمبيدات بواسطة ميكروبات التربة أهم طريقة يتم بها التخلص من المبيدات فى التربة فبعض المجاميع القطبية التى توجد على جزىء المبيد مثل $-NH_2$, $-OH$, $-COO$ تمثل نقط ضعف تهاجم من خلالها بواسطة ميكروبات التربة . والمبيدات التى تتحلل بسهولة بواسطة ميكروبات التربة هى المبيدات الحشرية الفوسفاتية مثل Parathion وأغلب المبيدات الفطرية وإن كان تحللها بطيئاً. وعلى العكس من ذلك نجد أن Chlorinated hydrocarbons, DDT مثل Aldrin يكون تحللها بطيئا جداً فى التربة .

(و) الإمتصاص بواسطة النبات Plant Absorption

تمتص النباتات معظم مبيدات الحشائش حيث أن هذه العملية ضرورية لكى يكون المبيد فعالاً . والمبيد الممتص بواسطة النبات قد يبقى داخله أو قد يتحلل وبعض نواتج التحلل تكون غير ضارة للإنسان أو المخلوقات الأخرى . وفى بعض الأحيان تكون نواتج التحلل سامة أو حتى أكثر سمية من المبيد الأصلى . وبقايا المبيدات خاصة فى أجزاء النبات التى تؤكل مثل ثمار الفواكه والخضراوات وغيرها تمثل خطراً كبيرا على صحة الإنسان .

فترة بقاء المبيد فى التربة Persistence in soils

يتوقف فترة بقاء المبيد فى التربة على العوامل السابق ذكرها وتختلف المبيدات فيما بينها من حيث فترة البقاء فى التربة فبعض المبيدات الحشرية الفوسفاتية قد تبقى فى التربة عدة أيام والبعض الآخر قد تطول فترة بقاؤه إلى

شهور مثل مبيد الحشائش Diuron أو سنين مثل DDT (جدول رقم 17-2) . والمبيدات التى تتحلل بسهولة إلى مكونات غير سامة للإنسان ولاتطول فترة بقاءها فى التربة لاتمثل خطرا حقيقيا على البيئة وإنما الخطر الحقيقى يكمن فى تلك المبيدات التى تقاوم التحلل وتطول فترة بقاؤها فى التربة .

جدول (17-2) : المدى الشائع لفترة بقاء بعض المبيدات فى التربة والخطورة على البيئة تكمن فى تلك المبيدات التى تطول فترة بقاءها فى التربة

نوع المبيد	فترة بقاء المبيد فى التربة
Arsenic	مالانهاية
Chlorinated hydrocarbon insecticides (DDT)	2-5 سنوات
Triazine herbicides (Atrazine)	1-2 سنة
Urea herbicides (Diuron)	2-10 شهور
Organophosphate insecticides (Malathion)	1-12 أسبوع
Carbamate herbicides (Barban)	1-8 أسبوع

خفض تركيز المبيد فى التربة Reducing soil pesticide level

فيما يلى بعض المقترحات لخفض مستوى تركيز المبيدات فى التربة :

١) إضافة المواد العضوية سهلة التحلل إلى التربة حيث لوحظ أن إضافة كميات كبيرة من الأسمدة العضوية ساعد على سرعة تحلل بعض المبيدات المقاومة للتحلل وذلك نتيجة لتوافر الظروف الملائمة لعمل ميكروبات التربة .

٢) زراعة بعض النباتات التى تجمع Accumulate المبيدات .

٣) غسيل Leaching التربة .

ولسوء الحظ فإن بعض هذه المقترحات تعمل فقط على نقل المبيدات من التربة إلى مكان آخر فى البيئة مما يجعل هذه المقترحات عديمة الفائدة .

٤) إستخدام المواد المتخصصة والمبيدات الحيوية والطبيعية وإستخدامها على نطاق واسع فى مكافحة الآفات ومنها على سبيل المثال :

i. مكافحة دودة ورق القطن بأسلوب إصطياد ذكور الفراشات بواسطة المصائد المائية المحتوية على الجاذبات الجنسية حيث يؤدى إنجذاب ذكور الفراشات وسقوطها فى المصائد المائية إلى عدم تلقيح الإناث وبالتالى تضع الإناث بيض غير مخصب .

ii. إستخدام أنوية بذور أشجار النيم الإستوائية Azadirachta indica لمكافحة بعض الحشرات وذلك فى صور مستخلصات مائية .

٥) إستخدام البرامج المناسبة للمكافحة المتكاملة للآفات Integrated Pest Management (IPM) التى تعتمد بدرجة كبيرة على العناصر الأساسية غير الملوثة للبيئة مثل الأعداء الطبيعية من مفترسات Natural predators وطفيليات وغيرها .

٦) إستنباط سلالات نباتية تمتاز بمقدرة كبيرة على مقاومة الآفات وبصفة خاصة مسببات الأمراض النباتية (البكتيريا - الفطريات - الفيروسات) . وهذه العملية تستغرق فترة زمنية طويلة ولاشك أن تقنيات زراعة الأنسجة سوف تزيد من إمكانية إستنباط هذه السلالات .

مواصفات المبيد الجيد (الآمن)

Criteria of a good pesticide (safe)

يجب أن تتوفر الشروط التالية فى المبيد لكى يكون آمناً ويسمح بتداوله فى الأسواق :

١) أن يتميز المبيد بفاعلية عالية تجاه الآفة المستخدمة
٢) ألا تكون فترة بقائه لفترات أطول مما يحتاج إليها فى تحقيق الغرض منه .
٣) ألا تكون مسببة لأمراض السرطان أو التشوهات الجينية .
٤) ألا يؤثر على بقية العناصر البيئية .
٥) ألا يسبب ضرراً للأعداء الطبيعية من مفترسات ومتطفلات وغيرها من الحشرات النافعة .

ومن أمثلة المبيدات الحديثة التى تتميز بالمعايير السابقة المبيد الجهازى Pirimicarb المتخصص كمبيد للمن وبعض المبيدات الفطرية الجهازية مثل Dimthirimol الذى أظهر نشاطاً إختياريا عاليا تجاه البياض الدقيقى ويوجد أيضا بعض مجاميع المبيدات الحديثة التى تظهر فعالية عالية مع مواصفات جيدة متوافقة مع الإحتياجات البيئية مثل المبيدات الحشرية البيرثرورية ومبيدات الحشائش التابعة لمجموعة Sulphonel Urea والمبيدات الفطرية الجهازية من مجموعة Triazal .

ثانيا : المركبات الكيميائية غير العضوية السامة

Toxic Inorganic Compounds

تتلوث التربة بالعديد من المركبات الكيميائية غير العضوية السامة للإنسان والحيوان . وتختلف سمية هذه المركبات فنجد أن المركبات التى تحتوى على عناصر الكادميوم والكروم والزرنيخ Arsenic والزئبق تعتبر عالية السمية أما المركبات التى تحتوى على رصاص ، نيكل ، موليدنوم وفلور تعتبر متوسطة السمية فى حين أن المركبات المحتوية على بورون أو نحاس أو منجنيز أو زنك يعتبر منخفض السمية نوعا. وجميع العناصر السابق ذكرها تعتبر من المعادن الثقيلة Heavy metals ماعدا البورون والفلور .

مصادر التلوث Contamination Sources

يوجد العديد من مصادر الملوثات الكيميائية غير العضوية والتى تؤدى إلى تجمع هذه الملوثات فى التربة (جدول رقم 17-3) . فعمليات حرق الوقود وإستخراج المعادن تؤدى إلى إنطلاق العديد من العناصر إلى الجو وترسبها على النباتات والتربة مثل عناصر الرصاص والنيكل والبورون التى تضاف إلى وقود السيارات وعند إحتراق الوقود تنطلق هذه العناصر وتترسب على التربة بواسطة الأمطار . أيضا الأسمدة الفوسفاتية والحجر الجيرى يحتويان على كميات قليلة من عناصر الكادميوم والنحاس والمنجنيز والنيكل والزنك . كذلك يستخدم كلا من الكادميوم والكروم فى طلاء المعادن والكادميوم يستخدم فى تصنيع البطاريات .

أما الزرنيخ Arsenic فلقد أستخدم لسنوات عديدة كمبيد حشرى على محاصيل القطن والدخان والفاكهة ونتيجة لمنع تداوله فهو يستخدم الآن فى نطاق محدود جداً . وكثير من العناصر السامة تتواجد بكميات كبيرة فى مخلفات الصرف الصحى والصناعى .

ولقد لوحظ فى السنوات الأخيرة زيادة إستخدام كثير من النواتج التى تحتوى على هذه العناصر مما يعظم فرصة تلوث البيئة بهذه العناصر وبالتالى يزيد من فرص تعرض الإنسان لها سواء عن طريق الجو أو الماء أو الغذاء .

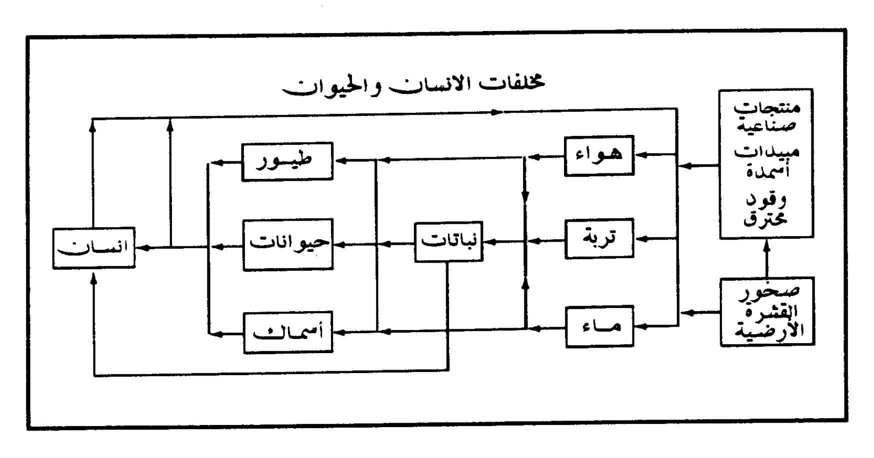
جدول (17-3) : مصادر بعض الملوثات غير العضوية للتربة

العنصر	إستخداماته ومصادر تلوث التربة
الزرنيخ (As)	مبيد حشرى - مشتقات البترول والفحم - يضاف لعلائق الحيوان - المنظفات.
الكادميوم (Cd)	طلاء المعادن - البويات - مثبت للبلاستيك - صناعة البطاريات.
الكروم (Cr)	طلاء المعادن - الصلب الذى لايصدأ - مصانع الطوب.
النحاس (Cu)	مناجم الفحم ومخلفاته - الأسمدة.
الرصاص (Pb)	إحتراق الوقود والفحم - مصانع إنتاج الحديد والصلب.
الزئبق (Hg)	المبيدات - صناعة المعادن - الترموميترات - تصنيع البوليمرات.
النيكل (Ni)	إحتراق البترول والفحم - صناعة السبائك - طلاء المعادن.
الزنك (Zn)	الحديد والصلب المجلفن - السبائك - البطاريات - مصانع المطاط.

دورة العناصر الثقيلة فى النظام البيئى

Cycling of heavy metals in ecosystem

تصل العناصر الثقيلة والسامة إلى التربة أياً كان مصدرها حيث تصبح جزء من دورة الحياه التى تشمل : التربة ← النبات ← الحيوان ← الإنسان (شكل 17-4) . ولسوء الحظ عندما تصبح العناصر الثقيلة جزء من الدورة السابق ذكرها فإنها تتجمع فى أنسجة الحيوان والإنسان بتركيزات سامة . ولذلك فإنه من الضرورى وضع ضوابط صارمة للحد من إنطلاق هذه العناصر ووصولها إلى التربة .



شكل (17-4) : مصادر العناصر الثقيلة ودورتها فى النظام البيئى

مخلفات الصرف الصحى كمصدر هام للملوثات غير العضوية
Potential Hazards of Chemicals in Sewage Sludge

تعتبر مخلفات الصرف الصحى والصناعى من أهم مصادر العناصر الثقيلة والسامة حيث نجد أن حوالى 30% من هذه المخلفات تضاف سنويا إلى التربة . وتحتوى مخلفات الصرف الصحى والصناعى على كميات كبيرة من الملوثات العضوية والغير عضوية مما يمثل خطرا شديدا على البيئة .

والجدول رقم (17-4) يوضح مستويات العناصر غير العضوية الموجودة فى مخلفات الصرف الصحى والصناعى لبعض المدن الكبيرة ويلاحظ الفرق الكبير بين مستوى العنصر فى مخلفات الصرف الصحى والصناعى ومستواه فى السماد العضوى فمثلا تركيز الكادميوم Sludge يعادل 400 ضعف مستوى هذا العنصر فى السماد العضوى وغالبا مايكون مصدر هذا التركيز العالى للعناصر السامة هو مخلفات صناعية . ولذلك يجب مراعاة الحرص الشديد عند إضافة هذه المخلفات إلى التربة إذ علينا أن نتأكد من مستويات العناصر السامة فى المخلفات حتى لاتكون سامة للنبات وبالتالى الحيوان أو الإنسان .

جدول (17-4) : مقارنة بين تركيزات بعض العناصر السامة فى كلا من مخلفات الصرف الصحى والسماد العضوى

العنصـــــر	السماد العضوى (mg / kg)	مخلفات الصرف الصحى (mg / kg)	
		Range from 15 larger cities	Small village
أنتيمونى	0.5	4-44	3
زرنيخ	4	4-30	3
كادميوم	1	9-444	7
كروم	56	207-14,000	169
نحاس	62	458-2,890	821
زئبق	0.2	4-18	11
منجنيز	286	32-527	128
موليبدنوم	14	2-33	1
نيكل	29	51-562	36
رصاص	16	329-7627	136
زنك	71	601-6,890	560

تفاعلات الملوثات غير العضوية فى التربة

Reactions of Inorganic Coutaminants in Soils

(١) العناصر الثقيلة فى مخلفات الصرف الصحى

Heavy metals in sewage sludge

أدى إضافة مخلفات الصرف الصحى والصناعى إلى التربة بكميات كبيرة إلى إجراء كثير من الأبحاث لمعرفة تأثير العناصر السامة الناجمة من هذه المخلفات فى التربة وخاصة عناصر الزنك والنحاس والنيكل والكادميوم والرصاص نظرا لتواجدها بكميات كبيرة فى هذه المخلفات . ولقد أوضحت الدراسات أن هذه العناصر ترتبط بغرويات التربة فى الصور الأربع التالية (جدول 17-5) :

أ) الصورة المدمصة أو المتبادلة وهذه الصورة صالحة للإستخدام بواسطة النبات وتمثل هذه الصورة نسبة صغيرة من التركيز الكلى .

ب) مرتبطة بمادة الأتربة العضوية عن طريق المواد العضوية الموجودة فى المخلفـات. وهذه الصورة غير متاحة للإستخدام بواسطة النبات فى زمن الإضافـة ولكنهـا تصبح متاحة لإمتصاص النبات مع الزمن .

ج) ممتصة على سطوح كربونات الكالسيوم ومصاحبة لأكاسيد الحديد .

د) فى صورة مركبات شحيحة الذوبان فى الماء وهذه الصورة تكون غـير صالحـة للإمتصاص بواسطة النبات .

ولحسـن الحـظ فـإن جـزء يسـير مـن هـذه العنـاصر يكـون متـاح خطيـاً للإمتصاص بواسطة النبات ومع ذلك فيجب مراعاة عدم إضافة كميات من هـذه المخلفات إلى التربة تزيد عن سعة التربة لإحتوائها والتفاعل معهـا وعـادة مـايؤخذ السعة التبادلية الكاتيونية للأتربة فى الإعتبار عنـد تحديـد كميـات المخلفـات التـى يجب إضافتها إلى التربة .

جدول (5-17) : صور بعض العناصر الثقيلة فى تربة مضاف لها 45 طن/هكتار مخلفات صرف صحى سنويا لمدة 5 سنوات

Forms	Percentage of elements in each form					
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Exchangeable / adsorbed	1	1	2	5	1	2
Organically bound	20	5	34	24	3	28
Carbonate / iron oxides	64	19	36	33	85	39
Residual[a]	16	77	29	40	12	31

(٢) العناصر الثقيلة فى مصادر أخرى

الزرنـيخ Arsenic

لوحظ زيادة مستويات الزرنيخ فى التربة وخـاصة أراضى الحمضيات نتيجـة إستخدام المبيدات الحشرية المحتوية على زرنيخ وعامة يوجـد الزرنيخ فى صـــورة آنيونية $H_2AsO_4^-$ ويمتص بواسطة أكاسيد الحديد والألومنيوم المتأدرتة فى صـورة غير صالحة للنبات ولكن الإضافات المتزايدة للتربة لأعـوام طـويلة يمكن أن تؤدى

إلى سمية النباتات الحساسة للزرنيخ . ويمكن الحد من الأثر الضار للزرنيخ عن طريق إضافة كبريتات الزنك والحديد والألومنيوم إلى التربة .

الرصاص Lead

المصدر الرئيسى لتلوث التربة بالرصاص ويأتى من عوادم السيارات حيث يترسب جزء كبير منه على النباتات والجزء الآخر يصل إلى التربة مباشرة . وعامة يتواجد الرصاص فى التربة فى صورة غير صالحة للإمتصاص بواسطة النباتات حيث يرتبط مع الكربونات والكبريتيد فى صورة مركبات شحيحة الذوبان أو يرتبط مع أكاسيد الحديد والألومنيوم والمنجنيز .

البورون Boron

المصدر الرئيسى لتلوث الأتربة بالبورون يحدث نتيجة الرى بمصدر مائى يحتوى على تركيزات عالية من البورون أو التسميد بكميات كبيرة بأسمدة تحتوى على هذا العنصر . ويوجد البورون فى التربة فى صورة ذائبة أو مدمصة على أسطح معادن الطين ويكون صالح للإمتصاص بواسطة النبات وتقل صلاحية هذا العنصر للإمتصاص بواسطة النبات بإرتفاع الرقم الهيدروجينى (pH) .

الزئبق Mercury

تلوث بعض البحيرات بالزئبق نتيجة صرف مخلفات الصناعة أدى إلى إرتفاع تركيز الزئبق فى الأسماك لمستويات سامة . ويوجد الزئبق فى التربة فى صورة غير ذائبة ويتحول بفعل الكائنات الحية الدقيقة إلى صورة عضوية Methylmetcury صالحة للإمتصاص بواسطة النبات والحيوان وبالتالى يدخل فى السلسلة الغذائية Food chain .

طرق الحد من الملوثات غير العضوية

Elemination of Inorgeinic Chemical Contamination

يوجد طريقتان أساسيتان للحد من تلوث التربة بالمركبات غير العضوية السامة.

أولا – خفض الكميات المضافة من هذه الملوثات .

ثـانيـا – إدارة التربـة والمحصول كوسيلة لمنع دخول هذه الملوثات فى دورة :

التربة ← النبات ← الحيـوان ← الإنســان

أولا : خفض الكميات المضافة للتربة Reducing soil application

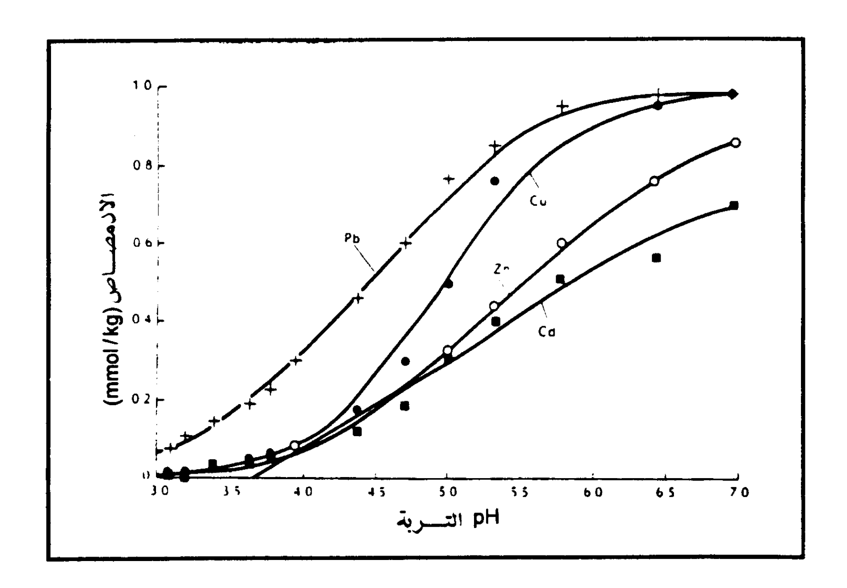
علينا جميعا أن ننظر إلى التربة على أنها مصدر طبيعى هام يمكن القضاء عليه بواسطة الإضافات المتزايدة من الملوثات غير العضوية والسامة . ولذلك لابد من الحد من تلك الإضافات التى تتم سواء بطريق غير مباشر (تلوث الهواء الناتج من العمليات الصناعية وإحتراق وقود السيارات وغيرها) . أو بطريق مباشر (المبيدات – الأسمدة – ماء الرى – المخلفات الصلبة) .

ثانيا : إدارة التربة والمحصول Soil and Crop management

يمكن لإدارة التربة والمحصول أن تساعد على خفض دورة الملوثات فى النظام البيئى ويتم ذلك مبدئياً عن طريق التحفظ على هذه الملوثات فى التربة وخفض إمتصاصها بواسطة النبات فتصبح التربة بهذه الطريقة عبارة عن مصب (Sink) للملوثات وليس مصدرا لها وبذلك يتم كسر الدورة (التربة ← النبات ← الحيوان ← الإنسان) . وبمعنى آخر العمل على أن تكون هذه الملوثات فى التربة فى صورة غير صالحة للإمتصاص بواسطة النبات فمثلا إرتفاع pH التربة أعلى من 7 يؤدى إلى مسك هذه العناصر وجعلها أقل حركة Immobile (شكل 17-5) . وأيضا إضافات أكاسيد الحديد والمنجنيز والفوسفات ووجود كربونات الكالسيوم فى الأتربة يجعل هذه العناصر أقل صلاحية للإمتصاص بواسطة النبات .

أيضا يجب الإستفادة من النباتات التى لها المقدرة على تجميع بعض هذه العناصر السامة Accumulators على ألا يتم تغذية الإنسان أو الحيوان بهذه النباتات.

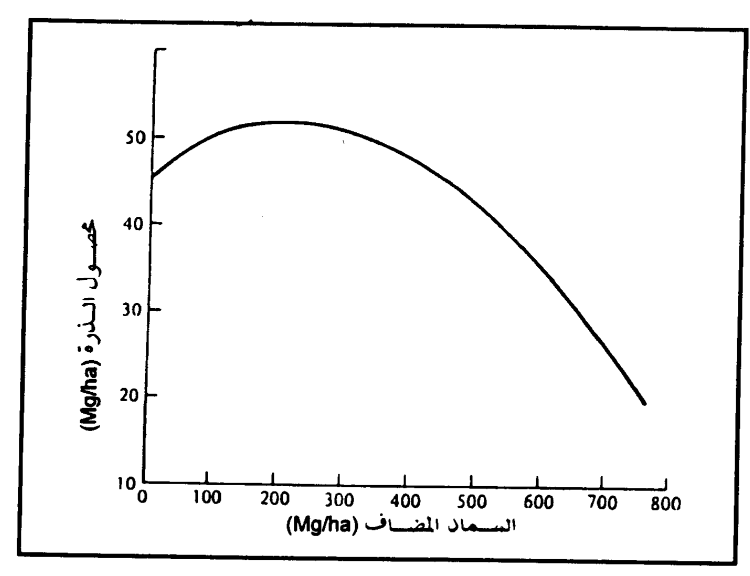
مما سبق يتضح أن إدارة التربة والمحصول يمكن أن يكون له بعض الفائدة فى الحد من إنتشار هذه الملوثات .



شكل (17-5) : تأثير pH التربة على إدمصاص العناصر الثقيلة (Elliot *et al.*, 1986)

ثالثا : المخلفات العضوية Organic wastes

ملايين الأطنان من المخلفات العضوية (الأسمدة الناتجة من حيوانات المزرعة - مخلفات التصنيع الزراعى - الأسمدة العضوية الصناعية Compost) يتم إضافتها للتربة سنويا . نظرا لمقدرة هذه المخلفات على تحسين صفات التربة الفيزيائية والكيميائية وبالتالى زيادة المحصول . ولكن الإضافات المتزايدة من هذه المخلفات يمكن على المدى الطويل أن يكون لها أثر سيء على كمية المحصول (شكل 17-6) وأيضا يؤدى إلى تلوث التربة والماء . والشكل (17-6) يوضح تأثير الإضافات المتزايدة من الأسمدة العضوية على تجمع النترات فى التربة . وأيون النترات يكون عرضة للفقد بواسطة الغسيل مما يؤدى إلى تلوث الماء الجوفى الذى قد يستخدم كمياه للشرب بواسطة الحيوان والإنسان .



شكل (6-17) : تأثير الإضافات المتزايدة من السماد البلدى على محصول الذرة (Murphy *et al.*, 1972)

تأثير المخلفات الزراعية والصناعية على البيئة
Environmental Impact of Agricultural and Industrial Wastes

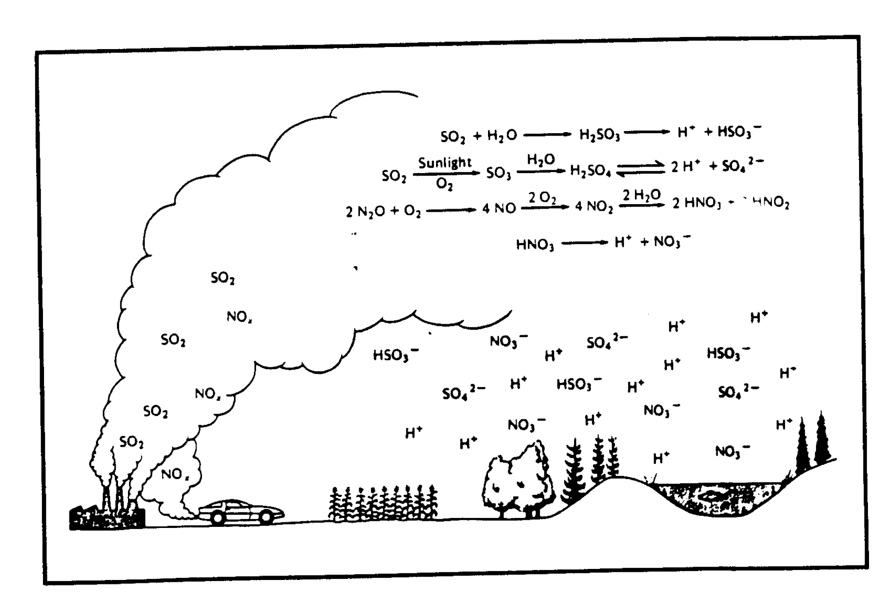
(١) المطـر الحمـضى Acid Rain

لفت العلماء فى أوروبا وأمريكا نظر العالم إلى زيادة حموضة الأمطار فى السنوات الأخيرة . فالرقم الهيدروجينى للأمطار فى المناطق غير الملوثة هوائيا هو 5.6 وذلك لتكون حمض الكربونيك من ثانى أكسيد الكربون الجوى . ولكن تلوث الهواء بالنيتروجين والغازات المحملة بالكبريت المتصاعدة من المصانع ومحطات الكهرباء أدى إلى خفض pH الأمطار فى هذه المناطق إلى 4 أى أن تلوث الهواء بالغازات أدى إلى زيادة حموضة الأمطار ولذلك يطلق عليه المطر الحمضى Acid Rain والمطر الحمضى هو ناتج أكسدة الغازات المحملة بالنيتروجين والكبريت وذوبان نواتج الأكسدة فى بخار الماء الجوى ليتكون حمض النيتريك والكبريتيك كما فى التفاعلات التالية :

$$\underset{\text{Nitric oxide}}{2\,NO} + O_2 \rightarrow \underset{\text{Nitrogen dioxide}}{2\,NO_2} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{Nitric acid}}{HNO_3} + \underset{\text{Nitrous oxide}}{HNO_2}$$

$$\underset{\text{sulfur dioxide}}{2\,SO_2} + O_2 \rightarrow \underset{\text{sulfur trioxide}}{2\,SO_2} \xrightarrow{2H_2O} \underset{\text{sulfuric acid}}{2\,H_2\,SO_4}$$

والشكل (7-17) يوضح كيفية إنتقال أكاسيد النيتروجين والكبريت للهواء الجوى وتحولها إلى أحماض غير عضوية ثم عودتها ثانية إلى التربة فى صورة أمطار وهذه الدورة هى المسئولة عن حموضة pH الأمطار فى الشمال الشرقى للولايات المتحدة وشرق كندا .



شكل (7-17) : يوضح كيفية تكون المطر الحمضى

تأثير المطـر الحمـضى

يعتقد بعض العلماء أن المطر الحمضى هو السبب فى زيادة حموضة مياه بعض البحيرات وحيث أن الأسماك لاتتحمل درجات ألـ pH المنخفضة (4.5 >) فالنتيجة هو تناقص أعداد الأسماك فى هذه البحيرات والحقيقة أن تأثير المطر الحمضى على المياه أكبر من تأثيره على الأتربة وذلك للقوة التنظيمية Buffering capacity لها ولكن إستمرار تساقط الأمطار الحمضية بدرجة كبيرة سوف يكون لـه تأثير معنوى على pH التربة وبالتالى خصوبتها خاصة فى الأتربة الحامضية .

ويمكن الحد من تأثير المطر الحمـضى عن طـريق :

١) خفض كميات الغازات الحاملة للنيتروجين والكبريت والمتصاعدة من المصانع ومحطات الكهرباء .

٢) إضافة كربونات الكالسيوم Lime إلى التربة الحمضية .

وربما إستخدام الطريقتين معا يكون أفضل الحلول للحد من الأثـر الناشىء عن المطر الحمـضى .

(٢) تأثير الصـوبـة Greenhouse effect

يطلق تعبير تأثير الصوبة Greenhouse effect على الظاهرة التى تؤدى إلى رفع درجة حـرارة الأرض Earth وسبب هـذه الظـاهرة هـو إنبعاث غاز ثانى أكسيد الكربون والغازات المسماه بغازات الصـوبـة Greenhouse gases . (CH_4 , N_2O and Chlorofluorocarbons) من سطح الأرض إلى طبقات الجـو العليا حيث تمتص هذه الغازات طاقة الإشعاع الشمسى وتعود ثانية إلى الأرض فى صورة إشعاع حرارى مما يؤدى إلى زيادة درجة حرارة الكرة الأرضيـة . أى أن هـذه الغازات تعمل عمل الزجاج فى الصوبة الزجاجية . وفـى السنوات الأخيرة ونتيجة للثورة الصناعية الهائلة نجد أن غازات الصوبة قد زادت فى الجو بدرجة كبيرة ومثال ذلك :

i) تزايد تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى طبقات الجو العليا من 280 جـزء فـى المليون إلى 350 جزء فى المليون خلال الثلاثين سنة الأخيرة .

ii) زيادة N_2O Nitrous oxide حوالى 25% نتيجة إحتراق الفحم والبترول والممارسات الزراعية وحيث ينطلق N_2O بكميات كبيرة خلال عملية عكس النترته Denitrification نتيجة التسميد النتراتى الزائد .

iii) تضاعف تركيز الميثان CH_4 فى طبقات الجو العليا فى المائة سنة الأخيرة وكما هو معروف فإن التربة تعتبر مصدر للميثان وخاصة الأتربة القديمة .

iv) زيادة إستعمال الإيروسولات أدى إلى إرتفاع تركيز غازات Chlorofluorocarbons .

وزيادة غازات الصوبة ومايتبعه من إرتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية له تأثير خطير ليس فقط على القطب الجليدى ولكن أيضا على أماكن أخرى كثيرة قد تحول فيها الأتربة المنتجة إلى أراضى صحراوية نتيجة تغير المناخ .

(٣) تدمير طبقة الأوزون Destruction of the Ozone Shield

الأوزون هو صورة من صور الأكسيجين رمزه العام O_3 وهو غاز أزرق اللون ذو رائحة مميزة وأشتق لفظ الأوزون من التعبير اليونانى " Ozein " ومعناه يشم " to smell " ويتكون الأوزون عادة نتيجة التفاعلات الضوئية أو الصواعق الكهربائية ويعتبر الأوزون مادة مؤكسدة أقوى من الأكسيجين العادى (O_2) وله مقدرة كبيرة على أكسدة المواد العضوية فى الجو . والأوزون هو المكون الطبيعى لطبقة ستراتوسفير Stratosphere ويوجد على بعد حوالى 24 كم من سطح الكرة الأرضية على هيئة سحابة يطلق عليها طبقة الأوزون وتعمل كدرع يحمى الأرض من الإشعاعات الشمسية الضارة . وفى الظروف العادية يحدث تدمير للأوزون ويعاد تكوينه للحفاظ على التوازن الكيميائى للضوء فى طبقة Stratosphere وتدمير الأوزون طبيعيا يتم عن طريق تفاعل O_3 مع مجاميع الهيدروكسيل الموجودة فى بخار الماء فى طبقة Stratosphere ويمكن تمثيل هذه العملية كالآتى (Moore and Moore, 1976) :

$$O + H_2O \rightarrow 2\,OH$$
$$OH + O_3 \rightarrow HOO + O_2$$

وتنبع الأهمية البيوكيميائية لطبقة الأوزون من مقدرتها علـى إمتصـاص الأشـعة فوق البنفسـجية عند طول موجة بين 360-240 nm وينتج عن هذا الإمتصاص تفاعل كيميائى ضوئى يؤدى إلى تحلل جزىء الأوزون إلى أكسيجين عادى كالآتى :

$$O_3 + h\nu \leftrightarrow O_2 + O$$

ويعتبر التفاعل السابق فى الظروف العادية تفـاعل إتـزان يعنـى إمكانيـة تفـاعل الأكسيجين O_2 مع O ليتكون الأوزون ثانية ، hv هى طاقة الأشعة فوق البنفسـجية التى تستخدم فى تحلـل الأوزون . وبهـذه الطريقـة نجـد أن الأشـعة فـوق البنفسـجية المنبعـثة من الشمس تمنع من الوصول إلى سطح الكرة الأرضية . وتـتميز الأشعة فـوق البنفسجية بمقدرتها على تدمـير العديـد مـن المركبـات العضويـة ووصولهـا إلى سـطح الكرة الأرضية يعنى تدمير صور الحياه عليها كما أن سرطان الجلد فى الإنسان يرتبط بالتعرض لهذه الأشـعة .

ولما كــان الأوزون يتفـاعل بسـرعة مـع المركبـات العضويـة فـإن وصـول هـذه المركبات فى الهواء سوف يؤدى إلى تلف التوازن الكيميائى الضوئى الهـام فـى عمليـة تحلل وتكوين الأوزون .

وإحتراق الوقود وأكسدة المركبات العضوية على سطح الكرة الأرضية ينتج عنه CO_2 ، H_2O ويتحلـل المـاء إلى أيـون OH^- الـذى بـدوره يعمـل علـى سـرعة تحلـل الأوزون. والغازات الأخرى المسئولة عن تحلل الأوزون هى CH_3, NO, N_2O, CH_4 وغـاز الفريـون $CFCl_3$ وغـازات Chlorofluorocarbous المسـتخدمة فـى التـبريد والإيروسولات Aerosols . وتحليل الأوزون بواسطة هـذه الغـازات يمكـن توضيحـه بالمعادلات الآتية :

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$

From freon

$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$

ويلاحظ فى المعادلات السابقة أن ClO المستخدم فـى تحلـل الأوزون ينتـج عنـه Cl ثانيـة مـما يؤدى إلى تكرار هذه العمـلية حتى يتحـول كل الأوزون الموجود إلى

O_2, O علما بأن تصوير تدمير طبقة الأوزون بهذه الطريقة الهدف منها التبسيط لسهولة الفهم ولكن حدوث ثقب فى طبقة الأوزون هو عملية غاية فى التعقيد ولايتسع المجال لسردها هنا .

وخلاصة القول أن إستمرار تلوث الهواء بالغازات الناجمة عن الصناعة ووسائل النقل يمكن أن يؤثر سلبياً على طبقة الأوزون ويؤدى إلى عواقب وخيمة على أشكال الحياه على سطح الكرة الأرضية .

التخلص من ملوثات التربه Soil Decontamination

يوجد العديد من المحاولات لإزالة الملوثات من التربه وذلك بأستخدام تقنيات مختلفه (جدول 17-6) . وللأسف فإن هذه التقنيات غير كافيه لإزالة الملوثات وغالبا ما يستخدم أكثر من تقنيه لتنظيف التربه حيث أن التركيب المعقد للتربه ووجود العديد من الملوثات يجعل إزالة الملوثات من التربه أمراً صعباً ومكلفاً .

الطرق المستخدمه فى موقع التلوث In Situ Methods

وتستخدم هذه الطرق فى موقع التلوث ولا يتم فى هذه الطرق نقل التربه من موقعها مما يخفض من إحتمالات تلوث مناطق أخرى .

التطاير Volatilization

وتتم هذه التقنيه فى الموقع وذلك عن طريق إمرار تيار من الهواء خلال أنابيب شبكيه تسمح بسريان الهواء فى التربه . وفى هذه الحاله تستخدم بعض المعاملات مثل الكربون النشط activated carbon لإدمصاص الملوثات المتطايره وهذه التقنيه محدوده فقط للمركبات العضويه الكربونيه المتطايره .

التحلل البيولوجى Biodegradation

وفى هذه الطريقه يتم زيادة قدرة الكائنات الحيه الدقيقه على تحلل الملوثات طبيعياً وذلك عن طريق زيادة أعدادها ونشاطها . وتتأثر عمليه التحلل البيولوجى للملوثات بالصفات البيئيه والكيمائيه للتربه مثل الرطوبه ودرجه الحموضه pH ، درجة الحرارة والميكروبات الموجودة وصلاحيه العناصر . وتتم عمليه التحلل

البيولوجى فى التربه تحت الظروف الهوائيه وفى مدى pH تتراوح بين 5.5-8 (المثلى pH = 7) ودرجة حرارة تتراوح بين 293-313 k . ويجب أن تأخذ فى الأعتبار أن الميكروبات قد تكون فعاله فى تحلل ملوث ما دون الآخر .

جدول (6-17) : التقنيات المختلفه المستخدمه فى إزاله الملوثات من التربه

التقنيه	المميزات	العيوب	التكلفه النسبيه
فى موقع التلوث In Situ			
- التطاير Volatilization	تستطيع ازالة المركبات المقاومه للتحلل البيولوجى	محدوده فقط للمركبات العضويه المتطايره	منخفضه
- التحلل البيولوجى Biodegradation	فعاله بالنسبه للمركبات غير المتطايره	تحتاج الى وقت طويل long-term time frame	متوسطه
- الغسيل Leaching	يمكن استخدامها فى العديد من المركبات	غير شائعة الأستخدام	متوسطه
- العزل / الأحتواء isolation / containment	تمنع أنتقال الملوثات طبيعيا physically	لايتم التخلص من الملوثات	قليله - متوسطه
- phytoremediation	فعالة للعناصر الثقيلة	تحتاج لتكنولوجيا خاصة لإستخلاص الملوثات من النبات	قليله
فى غير موقع التلوث None - in situ			
- معالجة التربه Land treatment	تستخدم عمليات التحلل الطبيعيه	يتبقى بعض الملوثات	متوسطه
- المعالجه الحراريه Thermal treatment	يحتمل التخلص نهائيا من الملوثات	تحتاج الى معدات خاصه	عاليه
- أستخدام الأسفلت Asphalt incorporation	يستخدم المعدات الموجوده	ازاله غير كامله للمركبات الثقيله	متوسطه
- التصلب Solidification	تجعل المركبات غير متحركه	غير شائعه الأستعمال فى التربه	متوسطه
- الأستخلاص الكيميائى Chemical extraction		غير شائعه الأستعمال فى التربه	عاليه
- إزالة التربه Excavation	ازالة التربه من الموقع	إمكانية نقل الملوثات	متوسطه

الغسيل Leaching

وفى هذه الطريقه يتم غسيل التربه بالماء وغالبا ما يستخدم أيضاً Surfactants (ماده نشطه سطحياً تتكون من مناطق محبه للماء وأخرى كارهه للماء وتعمل على تخفيض التوترالسطحى) لإزالة الملوثات . ويتم تجميع الماء بعد الغسيل بأستخدام نظام تجميع ثم التخلص منه . واستخدام هذه الطريقه محدوده للغايه لأنه يتطلب استخدام كميات كبيره من الماء لإزاله الملوثات بالأضافه الى أن التخلص من الماء وما يحتويه من ملوثات يكون مكلفاً للغايه .

وكفاءة عمليه الغسيل تعتمد على نفاذية ومساميه وقوام التربه والتركيب المعدنى للتربه ودرجه تجانس التربه . حيث أن كل هذه العوامل تؤثر على درجه تحرر وإنطلاق (desorption (release الملوثات من التربه ومعدل غسيل الملوثات خلال التربه .

العزل Isolation / Containment

وفى هذه الطريقه يتم عزل الملوثات فى مكانها ومنعها من الأنتشار وذلك بأستخدام عازل طبيعى physical barrier مثل الطين وذلك لتقليل الهجره الأفقيه . وحديثا فإن العلماء يدرسون استخدام Surfactants مع الطين وذلك لزياده أمتصاص الملوثات العضويه على سطوح هذه المواد وبالتالى تقلل من حركه الملوثات mobility of pollutants .

الطرق المستخدمه بعيدا عن موقع التلوث Non- in Situ Methods

وفى هذه الطرق يتم إزالة التربه الملوثه ومعالجتها فى نفس المكان أو نقلها الى مكان آخر ثم معالجتها . ويعيب هذه الطرق احتمالات نقل التلوث الى مناطق أخرى خلال عمليات النقل والمعالجه .

معالجة الأرض Land Treatment

وفى هذه التقنيه يتم إزالة التربه ونشرها على مساحه من الأرض حتى يمكن للعمليات الطبيعيه مثل التحلل البيولوجى والتحلل الضوئى أن تأخذ مجراها للتخلص من الملوثات . وفى هذه الطريقه يتم ضبط درجة حموضه التربه إلى pH = 7 لتخفيض حركة العناصر الثقيله ولزيادة نشاط وفعاليه ميكروبات التربه كما يتم أيضا

إضافة المغذيات لتنشيط الميكروبات وبعد ذلك تخلط التربه الملوثه مع تربه أخرى وذلك لزيادة التلامس بن الملوثات والميكروبات وخلق ظروف هوائيه .

المعالجة الحراريه Thermal Treatment

وفى هذه الطريقه يتم تعريض التربه لدرجه حراره عاليه بأستخدام فرن حرارى. وتعمل درجة الحراره العاليه على تكسير الملوثات وتنطلق غازات ويتم تجميع الغازات وحرقها أو أستخلاصها بواسطة مذيبات .

إستخدام الأسفلت Asphalt Incorporation

وفى هذه الطريقه يتم أضافة الأسفلت الساخن الى التربه وخلطها وأستخدام المخلوط فى رصف الطرق . وهذه الطرقه تعمل على إزاله بعض الملوثات من التربه بالتطاير والجزء الباقى يصبح غر متحرك لخلطه بالأسفلت .

التصلب : Solidification / Stabilization

وفى هذه التقنيه يتم اضافة بعض المواد إلى التربه المزاله وذلك لتغطيتها بماده صلبه أى أن التربه تتحول الى ما يشبه الكبسوله encapsulated . وبعد ذلك يستخدم المخلوط فى Landfill . وبذلك تصبح الملوثات غير قادره على الحركه ويعيب هذه الطريقه أن الملوثات لم يتم التخلص منها . وغالبا ما تستخدم هذه الطرقه لتقليل التلوث بالملوثات غير العضويه .

الإستخلاص الكيميائى Chemical Extraction

وفى هذه التقنيه يتم خلط التربه المزاله بمذيب او Surfactant أو مخلوط منهما . وذلك لفصل الملوثات واستخلاصها من التربه . وبعد ذلك يتم غسل التربه للتخلص من المذيب وما يحمله من ملوثات ثم يتم ترشيح المذيب بعد ذلك ومعاملته لإزالة الملوثات وهذه التقنيه عاليه التكاليف ونادرا ما تستخدم .

إزالة التربة Excavation

وفى هذه الطريقه يتم نقل التربه الملوثه الى مكان آخر وغالبا ما يكون Landfills التى تحتوى على حواجز طبيعيه تمنع حركه الملوثات . وعمليتى ازالة ونقل التربه تكلفتهما عاليه بالأضافه الى أن نقل التربه الى مكان آخر قد يؤدى الى تلوث الماء الأرضى .

مراجع الفصل السابع عشر

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Bowen, H.J.M. (1979). Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London.

Dragũn, J. (1988). The Soil chemistry of Hazardous Materials. Hazardous Materials Control Res. Inst. Silver. Spring M.D.

McConnell J.S. and L.R. Hosner (1985). pH Dependent Adsorption Isotherm of Glyphosate. J. Agr. Food Chem. 33: 1075 - 1078.

Murphy, L.S. *et al.*, (1972). Effects of Soild Beef Feedlot Wastes on Soil Conditions and Plant Growth. In "Waste Management Research Proceedings". Cornell Agric Waste Management Conference, Ithaca NY.

Sparks, D.L. (1993). Soil Decontamination. In "Handbook of Hazardous Materials" M. Corn (ed.) pp. 671-680. Academic Press, San Diego, CA.

Yong, R.N.; A.M. Mohamed and B.P. Warkentin (1992). "Principle of Contaminant Transport in Soils" Div. Geotech. Eng., 73: Elsevier, Amsterdam.

الفصل الثامن عشر

دور الأراضى فى إمداد سكان العالم بالغذاء

Soils and The World Food Supply

- الزيادة السكانية فى العالم
- العوامل المؤثرة على إمداد الغذاء فى العالم
- المصادر الأرضية فى العالم
- إعتبارات بيئية
- القدرة الإنتاجية لرتب الأراضى المختلفة
- إستزراع الأراضى الصحراوية
- متطلبات المستقبل

18

دور الأراضى فى إمداد سكان العالم بالغذاء

Soils and The World Food Supply

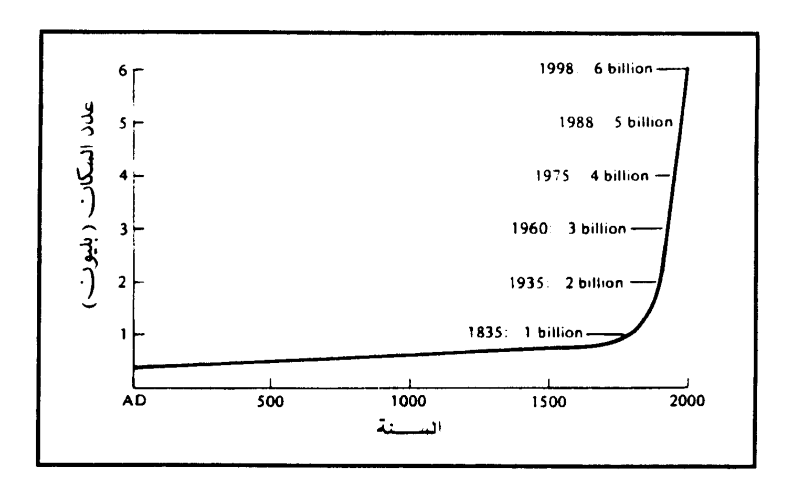
منذ بدأ الخليقة إرتبط إنتاج الغذاء فى العالم إرتباطاً وثيقا بمساحة الأرض المنزرعه حيث تؤدى زيادة المساحات المنزرعه من الأراضى إلى زيادة فى الانتاج الزراعى بوجه عام . ولقد لوحظ فى الآونه الأخيرة إنتشار الجوع فى أماكن كثيرة من العالم نتيجة للزيادة السكانيه الرهيبه مما أدى إلى إنخفاض نصيب الفرد من الغذاء فى أماكن كثيرة من العالم .

وهذا الفصل سوف يتناول مدى قدرة المساحات الصالحة للإنتاج الزراعى فى العالم على إمداد سكان العالم بحاجتهم من الغذاء فى المستقبل .

الزيادة السكانيه فى العالم

أدى تقدم العلوم عامه وعلوم الطب بصفه خاصه فى هذا القرن إلى إنخفاض معدل الوفيات مما نتج عنه زيادة سكانيه كبيرة على المستوى العالمى بصفه عامه وفى البلدان الناميه بصفه خاصه . ولقد لوحظ تضاعف عدد سكان البلاد الناميه مرة كل 18-30 سنه . ولما كان عدد سكان البلاد الناميه يمثل حوالى ثلثى عدد السكان فى العالم فلنا أن نتخيل الزيادة السكانيه الرهيبه فى مدى زمنى قصير . وقد تنبأ خبراء السكان بأن مجموع عدد السكان فى العالم سوف يصل إلى حوالى 7 - 6 بليون نسمه بحلول عام 2000 (شكل 18-1) أيضا تنبأ الخبراء أن 90% من الزيادة السكانيه فى العالم سوف تكون أساسا فى الدول الناميه التى تعانى حاليا من نقص فى الغذاء ومن قلة الامكانيات وضعف التكنولوجيا الضروريه لزيادة الإنتاج الزراعى ولذلك فإنه من

المتوقع أن تواجه هذه الدول مشكله تعتبر من أعقد المشاكل التى يمكن أن تواجه البشريه فى عصرنا هذا .



شكل (18-1) : أعداد السكان المتوقعه فى سنة 2000 ويلاحظ من الشكل تضاعف عدد السكان من 3 بليون نسمه فى سنة 1960 إلى 6 بليون نسمه فى سنة 2000 .

العوامل المؤثره على إمداد الغذاء فى العالم :

قدرة الأمم على إنتاج الغذاء تتوقف بدرجة كبيرة على العديد من العوامل السياسيه والاقتصاديه والاجتماعيه التى تؤثر بدورها على قدرة المزارع على الإنتاج . كما يتأثر إنتاج الغذاء أيضا بالعوامل الفيزيائيه والبيولوجيه التاليه :

١- الموارد الأرضيه المتاحه وخاصة الأراضى والمياه .
٢- التكنولوجيا المتاحه وتشمل طرق الاداره السليمه للنباتات والحيوانات والأراضى.
٣- تحسين الخواص الوراثيه للنباتات والحيوانات واستجابتها للإداره السليمه .
٤- القدره على الإمداد بمدخلات الإنتاج مثل الاسمده والمياه - والمبيدات وغيرها .

ويجدر القول أن كل العوامل السابقه وقدرتهـا علـى التأثير علـى إنتـاج الغـذاء بوجه عام يتوقف على مدى جـودة الأراضـى الصالحـة للزراعـة واستجابتها لـلإداره السليمه . ولذلك فإن الأراضـى تعتـبر هـى المفتـاح الحقيقـى لزيـادة الإنتـاج الغذائـى العالمى بافتراض وفرة المياه المستخدمه فى الزراعة .

المصادر الأرضية فى العالم The World`s Land Resources

تبلغ المساحة الكليه للأراضى فى العالم حوالى 13 بليون هكتار . ونصـف هـذه المساحة هى عباره عن مناطق جبليـه أو بـارده جـدا أو ذات انحـدار كبـير أو منـاطق صحراوية أو مستنقعات وبالتالى فهى غير صالحه للإنتـاج الزراعـى . وربـع المسـاحه الكليه من الأراضى فى العالم لا تصلح الا للإنتاج الرعوى فقـط لوجـود عوائـق تمنـع إستغلالها بصورة كامله فى الإنتاج الزراعى والمتبقى بعد ذلك وتبلغ حوالى 25% من المساحه الكليه تعتبر هـى المسـاحه التـى يمكـن استغلالها زراعيـا والتـى يمكـن تطبيـق التكنولوجيا الحديثـة والاداره السـليمه عليهـا لتعظيـم إنتاجهـا واستغلالها الاسـتغلال الأمثل (جدول رقم 18-1) .

جدول (18-1) : مساحة أراضى العالم فى المناطق المناخيه المختلفه

المنطقه المناخيه	المساحه (مليون هكتار)			
	غير صالحه للزراعه	صالحه للإنتاج الرعوى	صالحه للزراعه	المجموع
القطبيه وتحت القطبيه	560	0	0	560
شديدة البروده	1730	190	50	1,970
البارده	1000	1000	910	2,910
تحت الاستوائيه	1370	840	550	2,760
الاستوائيه	1650	1630	1670	4,950
المجموع	6310	3650	3180	13.150

يوضح الجدول رقم (18-2) الدور الهام الذى يمكن أن تلعبه الأراضى فى إمـداد سـكان العالم بالغذاء . وعلى الرغم من أن المسـاحة الكليـه من الأراضى المنزرعـه فى

العالم تبلغ نصف مساحة الأراضى القابله للاستغلال الزراعــى بوجـه عـام فـإن نسـبة الأراضى القابله للزراعة والغير مسـتغله حاليـا تختلـف مـن قـاره لأخـرى . فنجـد أن مساحة الأراضى المستغله حاليا فى الانتـاج الزراعـى فـى قـارتى آسـيا وأوروبـا تبلـغ حوالى 80%-73 من مســاحة الأراضـى الكليـه القابلـه للأسـتغلال الزراعـى . بينمـا تتراوح مساحة الأراضى المستغله زراعيا فى قـارتى أفريقـيا وأمـريكا الجنـوبيه بـين 25%-20 من المساحه الكليه القابله للأستغلال الزراعى أما فى استراليا نيوزيلندا تبلـغ مساحة الأراضى المستغله زراعيـا حاليـا حـوالى 31% مـن مسـاحة الأراضـى القابلـه للأستغلال الزراعى .

ومما سبق يتضح أن مساحة الأراضى غير المنزرعه والقابلـه للأسـتغلال الزراعـى فى قارات أفريقيا وأمريكا الجنوبيه واستراليا ونيوزيلاندا عاليه جدا بالمقارنه بالقـارات الأخرى .

جدول (18-2) : عدد السكان والمساحات المنزرعه فى قارات العالم ونصيب الفرد من الأراضى المستزرعه

المنطقه	عدد السكان بالمليون (1987)	المساحة (مليون هكتار)			نسبة الأراضى المنزرعه %	نصيب الفرد من الأراضى المنزرعة
		الكليه المنزرعه والقابله للأستزراع	القابله للأستزراع ولم تستغل	المنزرعه (1987)		
أفريقــيا	589	2996	733	183	25	0.31
آســيا	2913	2679	627	455	73	0.16
أوروبـا	495	473	174	140	80	0.28
أمريكا الجنوبيه	412	2139	465	274	59	0.66
أمريكا الشماليه	279	1753	680	139	20	0.50
روســيا	284	2272	356	232	65	0.82
استراليا ونيوزيلندا	25	843	154	48	31	1.92
المجموع	4998	13.081	3189	1472	46	0.29

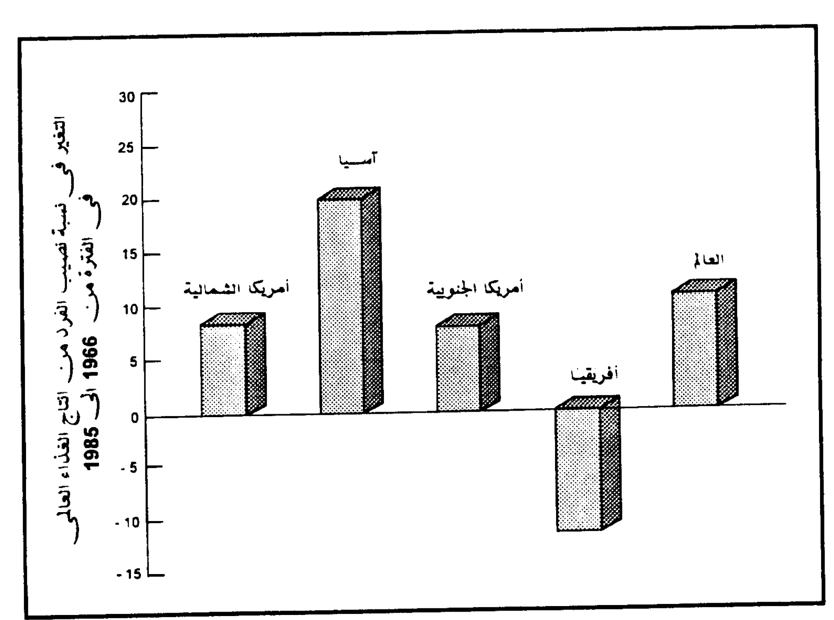
ويلاحظ من الجدول (2-18) أن توزيع الأراضى المنزرعه فى القارات المختلفه لا تتناسب مع الكثافه السكانيه فى القارات المختلفه . فنصيب الفرد من الأرض المنزرعه مرتفع فى أمريكا الجنوبيه وروسيا واستراليا ونيوزيلندا بينما يلاحظ أنخفاض نصيب الفرد من الأرض فى آسيا وأوروبا وأفريقيا . وإنخفاض نصيب الفرد من الأرض فى أوروبا والدول المتقدمه فى آسيا لا يتوقع أن يمثل مشكله كبيرة حيث أن التقدم الأقتصادى فى هذه الدول يمكنها من شراء الغذاء اللازم لها من الدول التى تمتلك فائض الغذاء . أما فى الدول الناميه مثل دول أمريكا اللاتينيه وخاصة دول أفريقيا فإن الوضع حرج حيث أن الزيادة السكانيه الرهيبه فى هذه الدول أدى إلى إنخفاض نصيب الفرد من الغذاء بدرجة كبيرة . ويوضح الشكل رقم (2-18) إنخفاض نصيب الفرد من الغذاء فى العشرين سنة الماضيه . ولذلك فإن الدول التى كانت تصدر الغذاء فى الماضى أصبحت فى حاجه ملحه إلى استيراد الغذاء نتيجة الزيادة السكانيه التى لا تواكب الزيادة فى إنتاج الغذاء . ولأن معدل نمو الناتج القومى فى هذه الدول منخفض فإن قدرتها على إستيراد الغذاء تكون ضعيفة ولا يوجد أمامها سوى خيارين إما أن تحصل على مساعدات غذائيه من الدول القادرة أو أن تعمل جاهدة لزيادة مقدرتها على إنتاج الغذاء .

الخيارات المطروحه لزيادة إنتاج الغذاء :

لزيادة إنتاج الغذاء فعلى الأمم أن تتبع الخيارات الثلاث التاليه :

١- إزالة النبت الطبيعى فى الأراضى القابله للأستزراع وزراعتها .
٢- زيادة الكثافه المحصوليه فى الأراضى المنزرعه حاليا وذلك بزيادة عدد المحاصيل المنزرعه فى العام أى إتباع الدوره الزراعية .
٣- تعظيم إنتاج المحاصيل فى الأراضى المنزرعه حاليا .

وعلى الأمم المختلفه أن تقيم وضعها وتختار ما يناسبها فدول أوروبا وآسيا مثلا ليس لها الا الخيار الأخير وهو تعظيم إنتاج المحاصيل فى الأراضى المنزرعه حاليا لأن الغالبيه العظمى من المساحات القابله للزراعة تم استزراعها بالفعل ولا توجد مساحات كبيرة يمكن إستزراعها . ولذلك فزيادة المحصول لكل هكتار هو السبيل الوحيد لزيادة الانتاج الزراعى فى هذه الدول .



شكل (18-2) : التغير فى نسبة نصيب الفرد من الغذاء فى العالم وفى بعض القارات ويلاحظ إنخفاض نصيب الفرد من الغذاء فى أفريقيا فى الفترة من 1985 -1966 .

أما فى دول أفريقيا وأمريكا الجنوبيه فإن مساحة الأراضى القابله للأستزراع و لم تزرع حتى الآن كبيره وتبلغ حوالى بليون هكتار وإن كـان تكـاليف استزراعها تعـد كبيره لضعف وسائل المواصلات والطرق لهذه الأراضى وإحتياجاتهـا إلى إداره جيـده كما أن وسائل إداره هذه الأراضى لم تتم دراستها بعد حيث أن معظم هذه الأراضى تعتبر أراضى أستوائيه .

إعتبارات بيئية Environmental Consideration

خيار إزالة النبت الطبيعى مـن الأراضـى القابلـه للأسـتزراع وإحـلال المحـاصيل الزراعيه محلها يجب أن يؤخذ بكثير من الحذر لما فى ذلك من ضرر كبير على البيئـه . حيث ن إزالة النبت الطبيعى فى المناطق الاستوائيه وخاصة فى الأراضى المنحدره أدى إلى مشاكل تعريه خطـيرة لهذه الأراضى . ولذلك فـإعـادة النبـت الطـبيعى إلى هذه

الأراضى ضروره حتميه للحفاظ عليها وهذا مـا يتـم عملـه الآن فـى أوروبـا والجـزء الشرقى من الولايات المتحده الأمريكيه .

أيضا إزالة الغابات من الأراضى القابله للأستزراع سوف يؤدى إلى كارثه بيئيـه للآتى :

١- إزالة الغـابـات سـوف يـؤدى إلى فـقـد التنوع البيولوجى Biological diversity حيـث تشـير الأدلـه المتاحـه إلى أن الأنشـطه البشـريه تـؤدى إلى خسـاره التنــوع البيولوجى للأرض . وتوزيع الأنــواع الحيـه فـى العـالم غـير متمـاثل ويـزداد ثـراء الأنواع من القطبين إلى خطوط الأستواء . وقد يوجد ما بين أربعـين ومائـه نـوع من الاشجار فى هكتار من الغابات المطيرة الاستوائيه فى أمريكا اللاتينيه مقابل ما بين عشرة أنواع وثلاثين نوعا فى غابات شرقى أمريكا الشماليه . وتم التعرف فى منطقه واحدة مساحتها قرابـه 15 هكتـارا مـن الغابـات المطـيرة فـى بورنيـو علـى حوالى 700 نوع من الاشجار وهذا العـدد (700) موجـود فـى أمريكـا الشـماليه بأكملها .

والغابات الاستوائيه ليست النظم البيئيه الوحيده العاليه التنوع فالمناطق التـى يسود فيها مناخ البحر المتوسط توجد فيها أيضا حياة نباتيه شـديدة الـثراء ومثـال ذلك أنه من بين 23200 نوع مـن النبـات تفيـد التقديـرات بوجودهـا فـى ناميبـا وجنوب أفريقيا وسوازيلند (مناطق معتدله) يتوطن المنطقـه 18560 نوعـا وبالتـالى فإن هذه المنطقه تعتبر أعلى المناطق ثراءا فى الأنواع فى العالم .

لذلك فإن إزالة الغابات والنبت الطبيعى سـوف يـؤدى إلى خسـارة التنـوع البيولوجى وتشير التقديرات أن إزالة الغابات الاستوائيه فيمـا بـين 1990 ، 2020 سوف يقضـى علـى مـا بـين 15% ,5 مـن الأنـواع فـى العـالم (تغطـى الغابـات الاستوائيه 7% فقط من الأراضى الموجوده فى العالم ولكنها تشمل على أكثر مـن نصف أنواع الحياه النباتيه والحيوانيه بأسرها فى العالم) .

وتساهم الأنواع البريه والتنوع الجينى داخلها مساهمات جوهريه فى تطور الزراعـة والطب والصـناعـة وفيمـا يلى سرد لبعض المنافع الاجتماعيه والاقتصاديه

للتنوع البيولوجى :

- يعزى حوالى 4.5% من الناتج القومى الأمريكى (حوالى 87 مليار دولار فى السنة) إلى حصاد الأنواع البريه .
- فى آسيا أدت التحسينات الجينيه إلى زيادة إنتاج القمح بمقدار 2 مليار دولار وإنتاج الأرز بمقدار 1,5 مليار دولار سنويا عن طريق إدخال التقزيم فى كلا المحصولين .
- إستخدام جين واحد من أحد أصناف الشعير الأثيوبى أدى إلى حماية محصول كاليفورنيا السنوى من الشعير (قيمته 160 مليون دولار) من فيروس التقزم الأصفر .
- تهجين نوع من الذره البريه مع أصناف حديثه فى المكسيك سوف يؤدى إلى وفورات عالميه للمزراعين تقدر بحوالى 4.4 مليار دولار .
- على نطاق العالم تبلغ قيمة الأدويه المستخلصه من منتجات بريه 40 مليار دولار.

٢- إزالة الغابات سوف تؤدى إلى إنطلاق كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون إلى الجو وتؤدى إلى زيادة ظاهرة تأثير الصوبه **green house effect** التى تؤثر على المناخ العالمى .

ولذلك فإن خيار إزالة النبت الطبيعى واحلال المحاصيل المتنوعه مكانها بغرض زيادة الإنتاج الغذائى العالمى يجب أن يكون هو الخيار الأخير لما لذلك من تأثير سيء على البيئه . ويفضل على ذلك زيادة الكثافه المحصوليه فى الأراضى المنزرعه حاليا وتعظيم إنتاج المحاصيل بها . ويوضح الجدول 20.3 الزيادة المتوقعه مستقبلا فى إنتاج المحاصيل نتيجة زيادة الكثافه المحصوليه وتعظيم إنتاج الهكتار من الأرض .

القدرة الإنتاجيه لرتب الأراضى المختلفه :

Potential of Different Soil Orders

يوضح الجدول (4-18) النسب المئويه لتوزيع رتب الأراضى فى العالم وفى المناطق الاستوائيه الرطبه وشبه الجافه . ويلاحظ من الجدول أن غالبية أراضى المناطق

الرطبه الاستوائيه فى أمريكا اللاتينيه وأفريقيا تبع رتبتى Oxisols ، Ultisols (أراضى حمضيه مغسوله ضعيفة المحتوى فى العناصر الغذائيه) وإستخدام الإداره السليمه بما فى ذلك إضافة الاسمدة والجير فى الزراعة يجعل من هذه الأراضى عالية الإنتاج . وعلى الرغم من ذلك فإن بعد هذه الأراضى عن وسائل الإنتاج الزراعى من أسمدة وخلافه يجعل زراعة هذه الأراضى عملية صعبة ومكلفه مما يؤثر على إنتاجية هذه الأراضى .

جدول (18-3) :

نسبة الزيادة فى الإنتاج المحصولى المتوقع نتيجة زيادة المساحة المنزرعه ، زيادة الكثافه المحصوليه وزيادة إنتاج الهكتار فى بعض الدول الناميه فى الفترة من 1984 - 2000

المنطقة	نسبة الزيادة فى الانتاج المحصولى (٪) نتيجه		
	زيادة المساحة المنزرعه	زيادة الكثافه المحصوليه	زيادة إنتاج المحصول لكل هكتار
أفريقيا Sub - Saharan	26	17	57
شمال أفريقيا – الشرق الأدنى	0	22	77
آسيا (ماعدا الصين)	11	20	69
أمريكا اللاتينيه	39	12	49

وتتميز الأراضى المتطورة من مادة أصل رسوبيه بقدرة إنتاجية زراعية كبيرة . وكثير من هذه الأراضى تقسم تبعا لرتب Entisols ، Inceptisols وتنتشر فى وديان الأنهار فى آسيا وأفريقيا وأمريكا اللاتينيه وكثير من هذه الأراضى تستخدم فى إنتاج الأرز وإن كان إنتاجية هكتار الأرز فى هذه المناطق أقل من نصف إنتاجية الهكتار فى اليابان وكوريا وإيطاليا ولذلك فإن هذه الأراضى لم تستغل الاستغلال الامثل حتى الآن .

فى المناطق الإستوائيه شبه الجافه فإن ثلث الأراضى الموجودة بهذه المناطق تتبع رتبه Alfisols . وأراضى هذه الرتبه يمكن أن تصبح عالية الإنتاج باستخدام الأداره السليمه للمصادر الأرضية والمائيه . ولسوء الحظ فإن إختلاف معدلات الأمطار من سنه لأخرى فى هذه المناطق يؤدى إلى حدوث جفاف فى بعض السنوات مما يعيق إستخدام الأراضى فى سنوات الجفاف .

جدول (18-4) : النسب المئويه لتوزيع رتب الأراضى فى العالم وفى المناطق الاستوائيه الرطبه وشبه الجافه فى ثلاث قارات .

رتب الأراضى	فى العالم	المناطق الاستوائيه الرطبه			المناطق الاستوائيه شبه الجافه		
		أمريكا اللاتينيه	أفريقيا	آسيا	أمريكا اللاتينيه	أفريقيا	آسيا
Oxisols	9	50	40	4	–	–	–
Ultisols	6	32	15	35	3	2	6
Inceptisols	9	9	17	24	–	3	9
Entisols	8	5	20	24	5	17	–
Alfisols	13	3	5	4	34	32	18
Histosols	1	–	1	6	–	–	–
Spodosols	4	2	1	2	–	–	–
Mollisols	9	–	–	2	–	–	–
Vertisols	2	<1	<1	<1			
Aridisols	19	–	<1	<1	11	30	15
Others	20	–	–	–	47	16	32
المساحه الكليه (مليون هكتار)	10.504	666	445	379	313	1462	319

وفى المناطق الجافه فإن القدره الإنتاجيه للأراضى التى تبع رتبه Aridisols تعتمد بدرجة كبيرة على مدى توفر مياه الرى الصالحه للزراعة . وتنتشر أراضى هذه الرتبه فى الشرق الاوسط وباكستان والهند والولايات المتحده الأمريكيه . وهذه الأراضى ذات إنتاجيه عاليه تحت ظروف الرى والأداره السليمه .

مما سبق نجد أنه تم التركيز على قارة أفريقيا لوجود مساحات أراضى كبيرة بها لم تستغل بعد ولوجود نقص كبير فى الغذاء بهذه القاره . أما قارتى أوروبا وآسيا فإن معظم الأراضى بها مستغله زراعيا بينما أمريكا الجنوبيه واستراليا يوجد بهما فائض أغذيه كبير .

معوقات الإنتاج الرئيسيه Major Production Constraints

يوضح الجدول رقم (18-5) المعوقات التى تحد استغلال الأراضى زراعيا فى مناطق مختلفه من العالم ويلاحظ أن نقص المياه يعتبر السبب الرئيسى الذى يحد من استغلال كثير من الأراضى فى أفريقيا وجنوب آسيا (الهند وباكستان) .

أيضا نقص المعادن يعتبر من المعوقات الرئيسيه لإنتاج الأراضى فى جنوب شرق آسيا وجنوب أمريكا كما أن غزارة الأمطار water excess تمثل مشكلة كبيرة لأراضى جنوب شرق آسيا .

جدول (18-5) : المصادرالأرضيه فى العالم والمعوقات الإنتاج الرئيسيه بها .

المنطقه	الجفاف	معوقات الإنتاج (٪ مساحة الأراضى)				
		نقص المعادن	ضحالة عمق القطاع	الأمطار الغزيرة	الصقيع	لا توجد بها معوقات كبيره
أمريكا الشماليه	20	22	10	10	16	22
أمريكا الوسطى	32	16	17	10	-	25
أمريكا الجنوبيه	17	47	11	10	-	15
أوروبا	8	33	12	8	3	36
أفريقيا	44	18	13	9	-	16
جنوب آسيا	43	5	23	11	-	18
شمال ووسط آسيا	17	9	38	13	13	10
جنوب شرق آسيا	2	59	6	19	-	14
استراليا	55	6	8	16	-	15
العالم	28	23	22	10	6	11

إستزراع الأراضى الصحراويه :

الإنتشار الجغرافى للصحارى :

يسود المناخ الجاف مساحات كبيرة من الأراضى (كمية المطر 200-100 مم سنويا) وتشير بيانات الأراضى والنباتات إلى أن مساحة الصحارى تغطى حوالى 43% من مساحة سطح الأرض .

ويوجد خمس مناطق صحراوية بكوكب الأرض :

١) صحراء كلهارى فى جنوب أفريقيا .
٢) صحراء سونوا شمال غرب المكسيك وتمتد إلى الجنوب الغربى للولايات المتحده الأمريكيه.
٣) القسم الأكبر من استراليا .
٤) منطقه شاسعه تبدأ من شواطىء المحيط الأطلسى وتشمل شمال أفريقيا وتمتد شرقا فى بلاد الشرق العربى (المملكه السعوديه ودول الخليج ـ الاردن وسوريا والعراق) ثم إيران ودول الشرق الأوسط وصحارى لكلامكان وجوبا فى الصين .
٥) شريط ضيق من شاطىء أمريكا الجنوبيه حتى خطى عرض 35^o جنوب غرب سفوح جبال Andes .

تقنيات إستزراع الصحارى

تختلف تقنيات إستزراع الأراضى الصحراويه عن تلك المستخدمه فى أراضى المناطق الرطبه أو نصف الرطبه والوديان . ويعتمد إستزراع الصحارى على تقنيات صيانة الماء حيث يعتبر الماء هو العنصر المحدد الحاسم فى نجاح إستزراع الأراضى الصحراويه فلتكثيف الإستزراع فى أراضى المناطق الجافه لابد من الاعتماد على الرى لتحقيق الأهداف المطلوبه من عمليات الإستزراع والتعمير . ولتحقيق ذلك يتم توصيل مياه الانهار إلى المنطقه كما حدث فى مناطق غرب وشرق الدلتا والساحل الشمالى وشمالى سيناء وكذلك الصحراء الغربيه والشرقيه أو ضخ الماء الجوفى كما حدث فى الوادى الجديد بجمهورية مصر العربيه . وإدخال الرى يكفل إستزراع محصول أو محاصيل شتويه مضمونه وبالتالى يؤدى إلى تعظيم قدرة الأراضى الصحراويه على إنتاج الغذاء . كما أن خواص الأرض والماء بالمنطقه الصحراويه هى التى تحدد الحاصلات المستزرعه بهذه المنطقه .

مخاطر إستزراع الصحارى :

إستزراع الصحارى نشاط محفوف بالمخاطر غير أن هذه المخاطر لم تحل دون نجاح إستزراع الصحارى طالما أن القائمون بعملية الإستزراع يدركون هذه المخاطر

ويتخذون الاساليب العلميه لمواجهتها .

وتتلخص مخاطر إستزراع الأراضى الصحراويه فى الآتى :

أولا - إنجراف الأراضى

حيث يؤدى تعرض سطح التربه للإنجراف بالماء والرياح إلى الاضرار التاليه :

أ) فقد خصوبة التربه فتعرض الأراضى للإنجراف يؤدى إلى جرف الطبقه السطحيه للأراضى والتى تحتوى على العناصر الغذائيه بكميات كبيرة مما يعنى فقد الأرض خصوبتها .

ب) قد تتعمق عملية الإنجراف حتى تصل إلى مادة الأصل الصخريه ويحدث ذلك بصفه خاصه فى المنحدرات الساحليه .

ج) ردم قنوات الرى والمصارف بالمواد التى جرفت بالماء أو الرياح كما قد يترسب الطمى باخزانات فتقل سعتها وتصبح عديمة الفائدة .

ثانيا - زحف الكثبان الرمليه

تبلغ مساحة الأراضى فى العالم المعرضه للتلف نتيجة زحف الكثبان الرمليه حوالى مليون هكتار وتهدد الكثبان الرمليه السكان والطرق ومصادر المياه وتبذل الجهود على المستوى الدولى لمواجهة هذه المشكلة حيث لايتوقع أن تستطيع الدول الناميه التى لا تمتلك المقومات الماديه أو التكنولوجيه لوقف هذا الخطر الذى يهدد أراضيها .

وتساعد الظروف الآتيه على زيادة تعرض الأراضى للإنجراف والتصحر :

١- قلة معدل سقوط الأمطار يؤدى إلى زيادة احتمالات تعرض الأراضى للأنجراف بالرياح .

٢- القوام الخشن والبناء يزيد احتمالات الإنجراف .

٣- يزيد تعرض الأرض للإنجراف بزيادة كثافة حيوانات الرعى .

ثالثا - تملح التربه نتيجة إدخال الرى بالمنطقه :

تتعرض أراضى مشروعات إستزراع الصحارى التى تعتمد على الرى سواء بتوصيل ماء الأنهار إليها أو من المياه الجوفيه إلى التملح وذلك لأن رى هذه الأراضى

يؤدى إلى تكون مستوى ماء جوفى قريب من سطح الأرض ويمضى الوقت يصل الماء إلى سطح التربه ويتبخر تاركا محتواه من الأملاح . وقد حدث ذلك فى مشروعات الصحراء الغربيه بمصر ووادى سان بواقيم بالولايات المتحده الأمريكيه ومشروعات متعدده بالاتحاد السوفيتى والعراق وأفغانستان .

متطلبات المستقبل :

مقدرة دول العالم على إمداد سكانها بالغذاء يتوقف على عدد من العوامل من أهمها تقدم التكنولوجيا الزراعيه فى البلدان الناميه . وتقدم التكنولوجيا فى هذه البلاد يتطلب تحسين أوضاع التعليم والبحوث فيها وعدم الإعتماد على نقل التكنولوجيا من البلدان المتقدمه مثل أوروبا والولايات المتحده الأمريكيه حيث ثبت فشل هذا المفهوم فى كثير من المشاريع التى أعتمدت على ذلك فى البلدان الناميه ولذلك فإن زيادة الإنتاج الزراعى فى البلدان الناميه يعتمد على ما يلى :

- تطوير التكنولوجيا بالبلدان الناميه تبعاً للمصادر الأرضيه والمائيه والظروف المناخيه بكل بلد .
- تطوير المناخ السياسى والأجتماعى والأقتصادى بكل بلد لكى يوائم ويواكب التكنولوجيا المتطورة بما يضمن نجاح وأستيعاب التكنولوجيا المطوره .

وفيما يلى بعض التقنيات التى تحتاجها البلدان الناميه لزيادة الأنتاج الزراعى بها .

١- أنتاج أصناف جديدة :

يعتبر إنتاج أصناف جديدة من المحاصيل التى تلائم ظروف ومناخ كل منطقه من أهم متطلبات زيادة الأنتاج الزراعى ومثال ذلك إنتاج أصناف القمح والأرز المتقزم ذات الأستجابه العالية للتسميد فى دول آسيا وأمريكا اللاتينيه أدى الى حدوث طفره فى إنتاجيه هذه المحاصيل . كما أن إنتاج أصناف جديدة من القمح فى المكسيك أدى إلى مضاعفه إنتاج الهكتار فى هذا البلد . أيضاً إنتاج أصناف مقاومه للأمراض والحشرات أدى إلى المساهمه بشكل فعاليه فى زيادة إنتاجيه كثير من المحاصيل .

٢- الرى والصرف :

زيادة مساحات الأراضى التى تستزرع بأستخدام نظم الرى المختلفه أدى إلى زيادة إنتاجية الأراضى بدرجة كبيرة وبخاصة فى دول آسيا . فحوالى 275 مليون هكتار يتم زراعتها على مستوى العالم بأستخدام نظم الرى فأستخدام الرى فى زراعة الأصناف ذات الإنتاجية العالية أدى إلى زيادة أنتاجية المحاصيل بدرجة كبيرة فى آسيا .

أما فى قارة أفريقيا فنجد للأسف أن مساحة الأراضى المروية ضئيله تبلغ حوالى 13 مليون فدان وزيادة مساحات الأراضى المستزرعه تحت نظام الرى فى هذه القاره يمكن أن يؤدى إلى زيادة كبيرة فى إنتاجيه هذه الأراضى شريطة أستخدام نظام صرف جيد لتلافى تملح هذه الأراضى . ولقد قدرت مساحات الأراضى المرويه التى تأثرت إنتاجيتها نتيجة التملح Salinization بحوالى 7% من مساحة الأراضى المرويه فى العالم .

٣- الأسمـــدة :

زيادة إنتاج المحاصيل نتيجة لأستخدام الأسمدة أدى إلى زيادة الطلب على الأسمدة الكيميائيه ففى سنة 1986 تم أستهلاك حوالى 30 مليون طن من أسمدة العناصر الكبرى (N-P-K) . ولذلك يجب معرفه خواص الأراضى لتقدير الأحتياجات السماديه للمحاصيل المنزرعه ولضمان عدم الأسراف فى أستخدام الأسمدة . كما أن البحوث مستقبلاً يجب أن توجه نحو الأسمدة بطيئة الإنطلاق والفقد لترشيد أستخدام السماد .

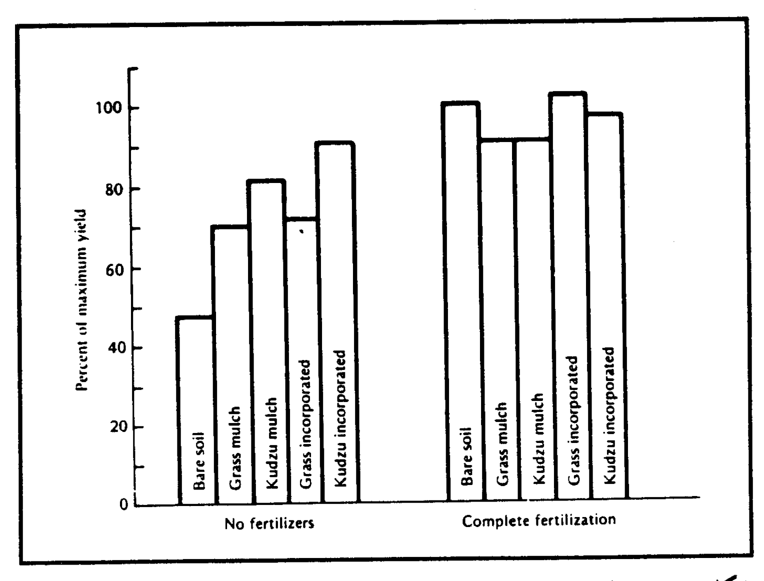
أغلب كميات الأسمدة المستهلكه تم أستخدامها فى الدول المتقدمه فنجد أن متوسط أستخدام السماد لكل هكتار فى أفريقيا كان حوالى 18.5 kg لكل هكتار بالمقارنه إلى 32 kg/ha فى أمريكا اللاتينيه ، 80 kg/ha فى آسيا .

وأستخدام الأسمدة أمر مرغوب فيه لتعظيم الأنتاج الزراعى ولكن لأعتبارات بيئيه يجب البحث عن مصادر بديله وخاصه للأسمدة النتروجينيه مثل أستخدام المحاصيل البقوليه والأسمدة العضويه كمصادر سماديه بديله يمكن أن توفر جزئياً إحتياجات المحاصيل الغذائية .

٤- إدارة التربه Soil Management

تعتبر إدارة التربه من أهـم العوامـل الهامـه والضروريـه لتعظيـم الإنتـاج الزراعـى وأيضا للحفاظ على الإنتاج لمستويات عاليه فى المدى الطويل . فمثلا عدم إستخدام الحرث فى بعض أراضى قارة أفريقيا أدى إلى زيادة إنتاجية محصولى البسله والذره مـع خفض تأثير الأنجراف Evosion على سـطح التربـه . (جـدول 18-6) . أيضـا التأثـير الكبيرلإضافات البقايا العضويه على المحصول موضح بالشكل رقم (18-3) .

ولإدارة التربه إداره علميه صحيحه يجب معرفة خصـائص التربـه فمعرفـة قلويـة وملوحة التربه مثلا يمكننا من تقييم مشاريع الرى تقييم صحيح وبالتـالى يمكـن معرفـة مدى النجاح الذى يمكن أن تحققه هذه المشاريع فى زيادة الإنتاج الزراعـى . ولذلـك فإن معرفة خصائص التربه وبذل الجهد والوقت لمعرفتها لا يقارن بالفائدة التى تعـود على الإنتاج الزراعى بوجه عام نتيجة إستخدام المعلومات المتاحه .



شكل (18-3): تأثير إستخدام بقايا نباتات مختلفه على المحصول بدون إضافة أسمدة كيماويه ومع إضافة أسمده كيماويه .

جدول (6-18) : تأثير عدم إستخدام الحرث على محصول الذره والبسله والفاقد من سطح التربه بتأثير الإنجراف .

المعامـــله	المحصول (Mg / ha)		الأنجراف
	الذره	البسله	(Mg / ha)
حـــــرث	4.2	0.5	15
بدون حرث	4.5	1.1	0.03

٥ – حصر التربه

المعلومات الخاصة بحصر الأراضى فى الدول الناميه غالبا ما تكون إما غير صحيحه أو غير كافيه وذلك لعدم إدراك مدى أهمية حصر الأراضى فى معرفة أنواع الأراضى المختلفه . فمعرفة أنواع الأراضى المختلفة يمكننا من وضع الخطط المستقبليه الصحيحه لاستغلال هذه الأراضى بكفاءة تامه .

وحصر الأراضى له أهمية كبيرة للأتى :

١- يمكن صانعى القرار من تطبيق نتائج الأبحاث التى أجريت على أنواع معينه من الأراضى فى مكان ما على الأراضى التى من نفس النوع فى منطقه أخرى .
٢- يمكن صانعى القرار من تقدير الجدوى الأقتصاديه لزراعة وأستخدام أنواع الأراضى المختلفه .

٦ – المصادر البشريه

العناصر البشريه المدربه تدريبا جيدا من أهم العوامل الضروريه لزيادة الإنتاج الزراعى . لذلك من الضرورى توفير الأفراد المدربين على إستخدام التكنولوجيا الحديثة ويشمل ذلك العالم الباحث والفنى والمزارع ووالافراد المدربين على عمليات التسويق وهذا أيضا يتطلب تعليم الطلاب وتوعية المزارعين .

إن الحرب ضد الجوع هى حرب شديدة الضراوة وللأنتصار فى هذا الحرب يتعين علينا أن نكون مسلحين ومستعدين لمواجهتها وهذا يتطلب إستخدام التقنيات الحديثه ووجود الأفراد المدربين عليها والبحاث القائمين على تطويرها مما يضع عبئا كبيرا على المشتغلين بعلوم الأراضى فى جميع أنحاء العالم .

مراجع الفصل الثامن عشر

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company . New York.

FAO (1987). Agriculeure: Toward 2000 (Rome, Italy: UN Food and Agriculture Organization.

The White House (1967). The World Food Problem. U.S. Government Printing Office. Washington D. C.

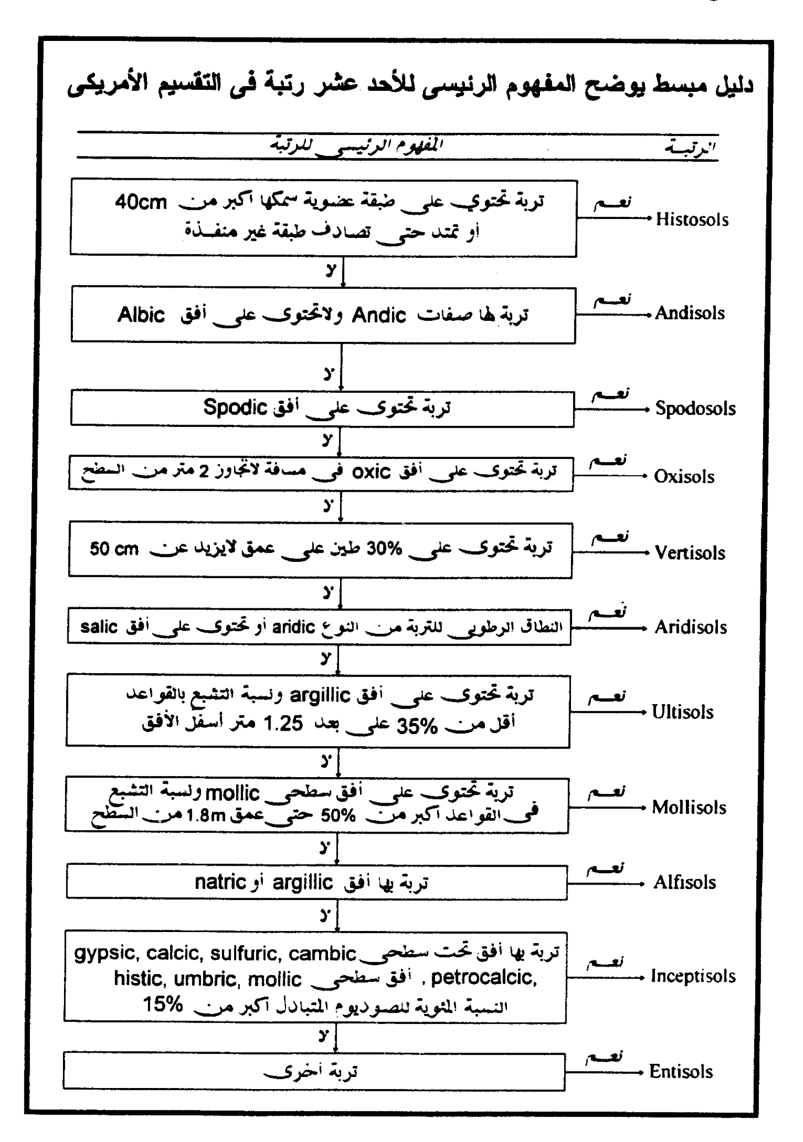
World Conservation Monitoring Centre (WCMC) (1992). Global Biodiversity: Status of the Earth's living Resources. WCMC. Cambridge.

World Resources (1987). A report of International Institute for Environment and Development. World Resource Institute, Washington, DC.

APPENDICES الملحقـــات

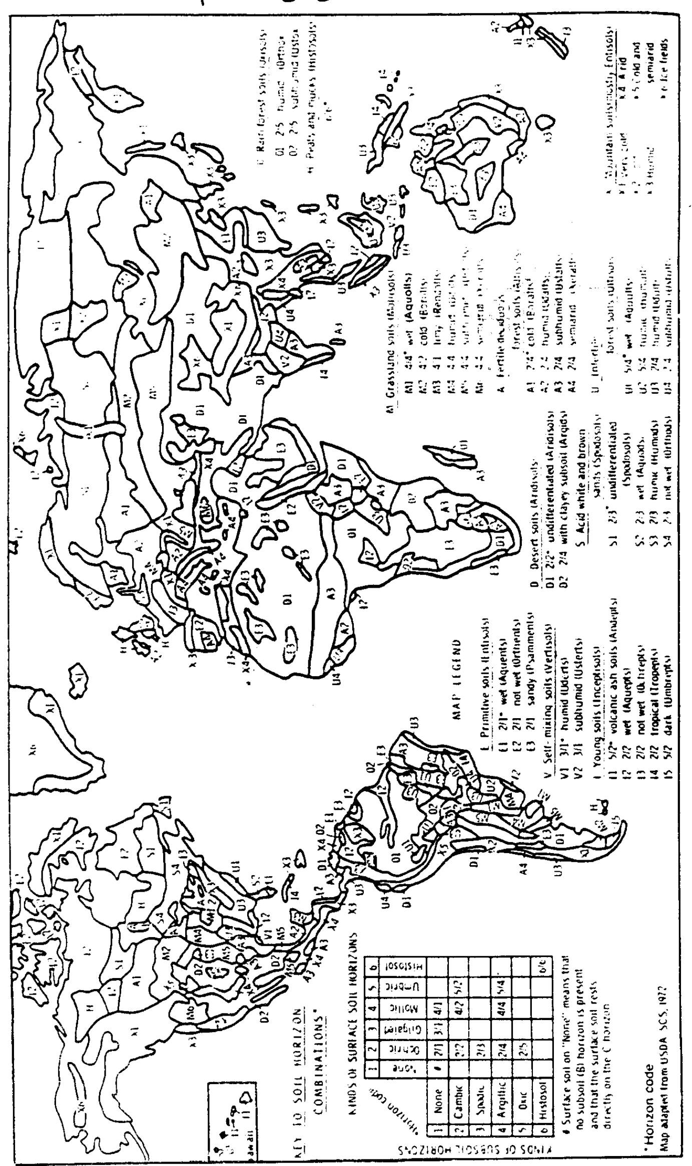


ملحق (أ) :


دليل مبسط يوضح المفهوم الرئيسى للأحد عشر رتبة فى التقسيم الأمريكى
الرتبة
المفهوم الرئيسي للرتبة
تربة تحتوي على طبقة عضوية سمكها أكبر من 40cm
أو تمتد حتى تصادف طبقة غير منفذة
نعم
Histosols
لا
تربة لها صفات Andic ولاتحتوى على أفق Albic
نعم
Andisols
لا
تربة تحتوى على أفق Spodic
نعم
Spodosols
لا
تربة تحتوى على أفق oxic فى مسافة لاتجاوز 2 متر من السطح
نعم
Oxisols
لا
تربة تحتوى على 30% طين على عمق لايزيد عن 50 cm
نعم
Vertisols
لا
النطاق الرطوبى للتربة من النوع aridic أو تحتوى على أفق salic
نعم
Aridisols
لا
تربة تحتوى على أفق argillic ونسبة التشبع بالقواعد
أقل من 35% على بعد 1.25 متر أسفل الأفق
نعم
Ultisols
لا
تربة تحتوى على أفق سطحى mollic ونسبة التشبع
فى القواعد أكبر من 50% حتى عمق 1.8m من السطح
نعم
Mollisols
لا
تربة بها أفق argillic أو natric
نعم
Alfisols
لا
تربة بها أفق تحت سطحى gypsic, calcic, sulfuric, cambic
, petrocalcic, أفق سطحى histic, umbric, mollic
النسبة المئوية للصوديوم المتبادل أكبر من 15%
نعم
Inceptisols
لا
تربة أخرى
نعم
Entisols

ملحـق (ب) :

الأراضـــــى فى العـالـم



ملحـق (جـ) :

وحدات النظـام العالمى System International (SI) Units

جدول (جـ - ١) : وحدات النظام العالمى ورموزها

SI unit	Symbol
Ampere (electrical current)	A
Candela (luminous intensity)	cd
Meter (length)	m
Mole (amount of substance)	mol
Kelvin (thermodynamic temperature)	K
Kilogram (mass)	kg
Second (time)	s
Square meter (area)	m^2

Factors for Converting into SI Units

U.S. unit	SI unit	To obtain SI unit multiply U.S. unit by
Acre	Hectare, ha	0.405
Acre	Square meter, m^2	4.05×10^3
Atmosphere	Megapascal, MPa	0.101
Calorie	Joule, J	4.19
Cubic foot	Liter, L	28.3

جدول (جـ - ٢) : التحويل إلى الوحدات العالمية **SI Units**

U.S. unit	SI unit	To obtain SI unit multiply U.S. unit by
Cubic inch	Cubic meter, m^3	1.64×10^{-5}
Curie	Becquerel, Bq	3.7×10^{10}
Dyne	Newton, N	10^{-5}
Erg	Joule, J	10^{-7}
Foot	Meter, m	0.305
Gallon	Liter, L	3.78
Gallon per acre	Liter per ha	9.35
Inch	Centimeter, cm	2.54
Mile	Kilometer, km	1.61
Miles per hour	Meter per second	0.477
Ounce (weight)	Gram, g	28.4
Ounce (fluid)	Liter, L	2.96×10^{-2}
Pint	Liter, L	0.473
Pound	Gram, g	454
Pound per acre	Kilogram per ha	1.12
Pound per cubic foot	Kilogram per m^3	16.02
Pound per square foot	Pascal, Pa	47.9
Pound per square inch	Pascal, Pa	6.9×10^3
Quart	Liter, L	0.946
Square foot	Square meter, m^2	9.29×10^{-2}
Square inch	Square cm, cm^2	6.45
Square mile	Square kilometer, km^2	2.59
Ton	Kilogram, kg	907
Ton per acre	Megagram per ha	2.24